Dr. K. Humpfs

# Anfangsgründe der Physik.

Siebente Auflage,

bearbeitet von

**Dr. A. Pabst,**

Oberlehrer am Herzoglichen Seminar in Cöthen.

Mit 303 in den Text gedruckten Abbildungen, einem farbigen Sonnenspektrum und 2 Abbildungen über Luftdruck- und Windverhältnisse.

Preis ungebunden 1,50 *M.*



Der hierzu gehörige **Anhang** über **Chemie** ist besonders zu haben.
(Preis 25 ₰.)

18 — 52

A·L

**Hildesheim 1895.**

Druck und Verlag von August Lax.

# Vorwort zur siebenten Auflage.

Seit dem Erscheinen der vorigen Auflage sind die „Anfangsgründe der Physik“ in eine größere Anzahl von Schulen neu eingeführt worden, insbesondere auch in Preußen, wo die Regelung der Lehrbuchfrage in den höheren Schulen Veranlassung hierzu gab. Dieser Umstand machte dem Herausgeber eine sorgfältige Durchsicht der neuen Auflage zur Pflicht, bei der auch die in dem Buche angedeutete Zweiteilung des Lehrstoffes einer Prüfung unterzogen wurde, und zwar unter Berücksichtigung der über diese Frage veröffentlichten Aufsätze, unter denen die von Noack und Poske (in der „Zeitschrift für den physikalischen und chemischen Unterricht“) besonders zu erwähnen sind.

Außer den schon in den früheren Auflagen mit einem * bezeichneten und damit der zweiten Lehrstufe überwiesenen Paragraphen sind nunmehr auch die §§ 3, 5, 50, 68, 73, 78 durch einen der Zahl beigedruckten * für die zweite Lehrstufe in Vorschlag gebracht worden, während andererseits die §§ 36 und 80 durch Weglassung des bisherigen * der ersten Lehrstufe zugeteilt wurden.

Durch diese Vorschläge ist indes eine endgültige Entscheidung in der schwierigen Frage der Abgrenzung des Lehrstoffes für die beiden Stufen um so weniger beabsichtigt, als man erst noch abwarten muß, inwieweit sich die nach Durchführung der neuen Lehrpläne gemachten praktischen Erfahrungen mit den von verschiedenen Seiten ausgesprochenen theoretischen Ansichten in Einklang bringen lassen. Es wäre z. B. zu erwägen, ob sich nicht außer den vorher bezeichneten noch einige Abschnitte aus der Lehre von den flüssigen Körpern (z. B. § 31), vom Lichte (§ 51 ff.) und vom Galvanismus zur Behandlung in der ersten Lehrstufe eignen; der Wunsch indes, weitergehende Änderungen in der ganzen Anlage des Buches zu vermeiden, hat den Herausgeber bestimmt, sich zunächst auf die angeführten Vorschläge zu beschränken.

Zu erwähnen dürfte noch sein, daß die §§ 8 und 9 (Schwerpunkt und Standfestigkeit) in den 2. Hauptabschnitt (Gleichgewicht und Bewegung der Körper) gestellt worden sind.

Bei Verbesserungen im einzelnen sind in erster Linie die in den Besprechungen des Buches gemachten Bemerkungen und die dem Herausgeber in dankenswertester Weise mitgeteilten Wünsche einiger Fachkollegen berücksichtigt worden.*) Es mögen folgende Stellen erwähnt werden, an denen Änderungen geboten schienen: § 12 (Brückenwage), § 30 (Bodendruck), § 31 (Schwimmen

---

*) Den Herren Prof. Dr. Maurer in Eberbach (Baden), Oberlehrer Wangemann in Sprottau, Diederich in Hamburg und Hartmann in Magdeburg möchte der Herausgeber an dieser Stelle für ihre Mitteilungen noch besonders danken.

und spec. Gewicht), § 37 (Luftballon), § 44 (Stimmorgan) § 46 (Beleuchtungsstärke und Geschwindigkeit des Lichtes), § 55 (Sehen), § 59 (Ausdehnung durch Wärme), § 60 (Dichtigkeitsmaximum des Wassers), § 68 (Wärmestrahlung), § 69 (Regenhöhen), § 82 (chemische Wirkungen des galv. Stromes), § 85 (Dynamomaschinen und el. Kraftübertragung). Außerdem ist durch die Aufnahme einer Anzahl neuer Figuren, zum Teil an Stelle von mangelhaften oder veralteten, sowie durch die Beifügung einer kurzen „geschichtlichen Übersicht“ am Schlusse des Buches eine Verbesserung angestrebt worden.

Der Herausgeber muß es sich versagen, auf die neuerdings von verschiedenen Methodikern erörterten Gründe für eine stärkere Betonung des „historischen Momentes“, sowie überhaupt auf die methodischen Gesichtspunkte einzugehen, die bei der Beurteilung und beim Gebrauche des vorliegenden Buches etwa in Frage kommen könnten. Er erlaubt sich deshalb darauf hinzuweisen, daß er einige der wesentlichsten im Vorworte zur 5. Auflage der „Schulphysik“ Dr. Sumpfs angedeutet hat, und hofft, daß es ihm möglich werden wird, dieselben an anderer Stelle weiter auszuführen.

Cöthen, im Dezember 1894.

**A. Pabst.**

Bem. Die Herren Fachlehrer der Physik, an deren Schulen dieses Buch eingeführt ist, werden gebeten, sich nach dem Erscheinen jeder neuen, veränderten Auflage wegen eines Handexemplares an uns zu wenden, falls die Zusendung unsererseits nicht rechtzeitig erfolgen sollte. Auf Wunsch sind wir ferner gern bereit, für die betreffende Lehranstalt auch ein Exemplar der neuesten Auflage der **Schulphysik des Verfassers** als Kommentar zu $\frac{2}{3}$ des Ladenpreises abzugeben. Die Zusendung erfolgt auf direkte Bestellung bei der unterzeichneten Buchhandlung.

Verlagsbuchhandlung von **August Lax.**

# Inhaltsverzeichnis.

Seite

## 1. Abschnitt. Von den Körpern im allgemeinen.



## 2. Abschnitt. Gleichgewicht und Bewegung der Körper.

### a. Von den festen Körpern.



### b. Von den flüssigen Körpern.

c. Von den luftförmigen Körpern. Seite



### 3. Abschnitt. Vom Schalle.



### 4. Abschnitt. Vom Lichte.



### 5. Abschnitt. Von der Wärme.

### 6. Abschnitt. Vom Magnetismus.



### 7. Abschnitt. Von der Elektricität.

A. Reibungs-Elektricität.



B. Berührungs-Elektricität.



### 8. Abschnitt. Rückblick.

## Abkürzungen für den Übungsstoff.

| | | | |
|---|---|---|---|
| K. | = Körper. | Kr. | = Kraft. |
| fl. | = flüssig. | L. | = Last. |
| luftf. | = luftförmig. | spec. | = specifisch. |
| W. | = Wasser. | Therm. | = Thermometer. |
| Flgk. | = Flüssigkeit. | Temp. | = Temperatur. |
| Ersch. | = Erscheinung. | magn. | = magnetisch. |
| atm. | = atmosphärisch. | E. | = Elektricität. |
| mech. V. | = mechanischer Vorteil. | el. | = elektrisch. |
| mech. N. | = mechanischer Nachteil. | galv. | = galvanisch. |
| Geschw. | = Geschwindigkeit. | Htg. | = Hartgummi. |
| Gew. | = Gewicht. | Wv. | = Wieviel. |
| Glgew. | = Gleichgewicht. | u. w.? | = und warum? |

**Berichtigung.**

Seite 18, Zeile 19 v. u. lies: ersichtlich.

# 1. Abschnitt.

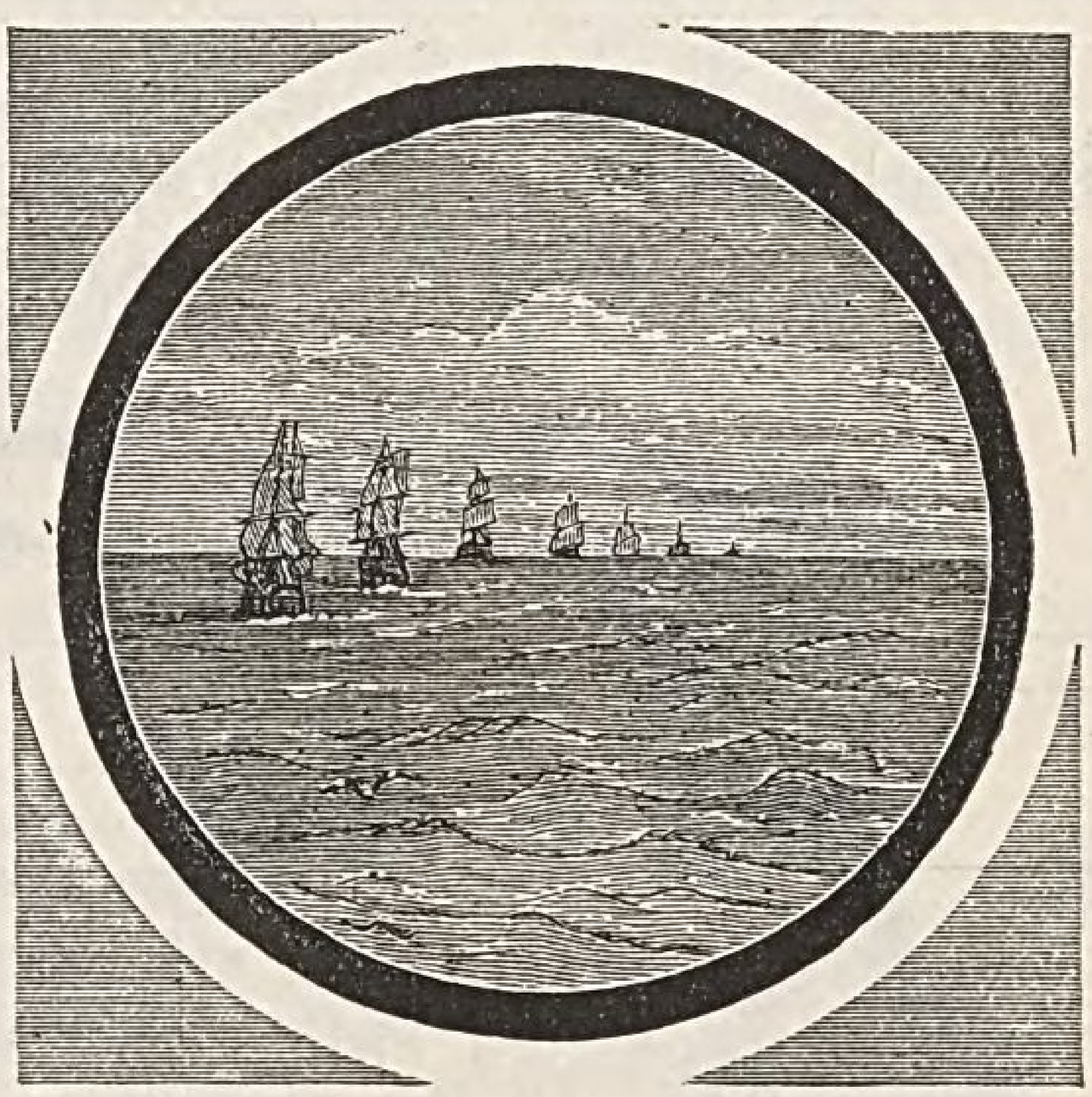
# Von den Körpern im allgemeinen.

## Aggregatzustände und allgemeine Eigenschaften.

**§ 1. Feste, flüssige und luftförmige Körper.** Die meisten Körper, die wir um uns her wahrnehmen, haben eine bestimmte Gestalt und äußern einen merklichen Widerstand, wenn wir etwa durch Druck oder Zug ihre Gestalt ändern oder Teile vom Ganzen trennen wollen. Solche Körper werden **feste Körper** genannt. (Beispiele!)

Andere Körper, wie Wasser, Öl, Quecksilber, haben nur dann eine eigene Gestalt, nämlich die Kugelform, wenn sie in sehr geringen Mengen (Tropfen) vorhanden sind; in größeren Mengen ist ihre Gestalt von der Form der Gefäße abhängig, in denen sie enthalten sind. Diese Körper kann man beliebig teilen, ohne einen merklichen Widerstand zu empfinden. Da sie fließen können, so werden sie als **flüssige Körper** oder **Flüssigkeiten** bezeichnet. In größeren Mengen sind alle in Ruhe befindlichen Flüssigkeiten an ihrer freien Oberfläche überall, wo sie nicht von der Gefäßwand begrenzt werden, eben (wagerecht oder horizontal). Die Oberfläche des Meeres erscheint gekrümmt, da sie einen großen Teil der Erdoberfläche ausmacht (Fig. 1 und 2).

Fig. 1.



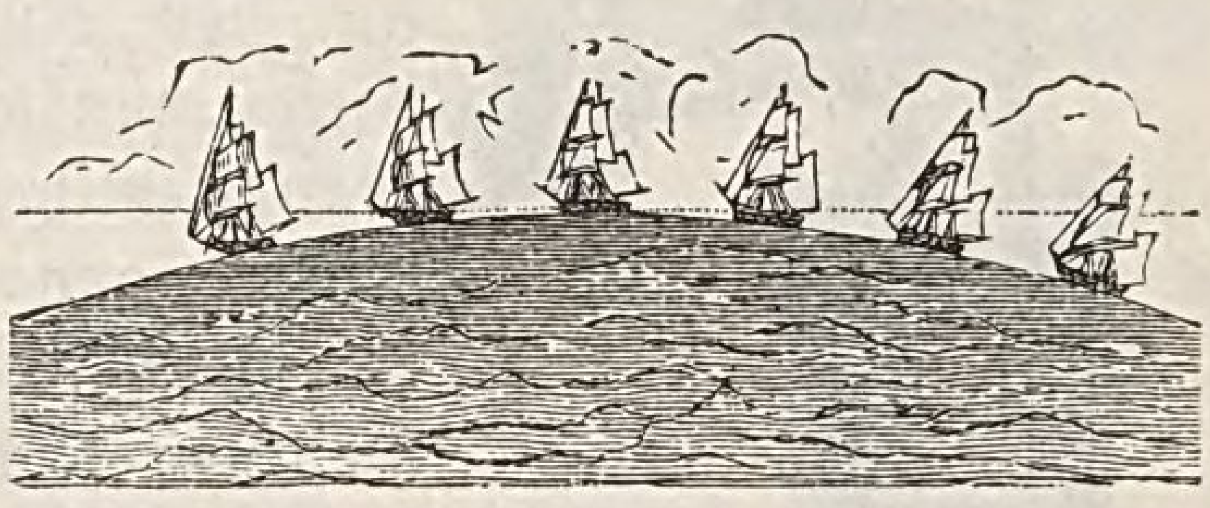


Fig. 2.

Außer den festen und flüssigen Körpern giebt es noch Körper, die überhaupt keine eigene Gestalt besitzen, sondern stets das Bestreben haben, einen größeren Raum einzunehmen (Ausdehnsamkeit). Solche Körper heißen **luftförmig.** Der bekannteste ist die uns umgebende Luft; andere sehr bekannte luftförmige Körper sind Leuchtgas, Kohlensäure, Pulvergase und Wasserdämpfe.

Die drei Zustände (fest, flüssig und luftförmig), in denen die Körper auf der Erde vorkommen, heißen **Aggregatzustände.**

**Übungsstoff.** 1. Nenne metallische K., bei denen der Widerstand, den sie einer Veränderung ihrer Gestalt entgegensetzen, sehr verschieden ist. — 2. Wie läßt sich dies nachweisen? — 3. Vgl. in dieser Beziehung auch K. miteinander, die nicht aus Metall bestehen, und führe an, wodurch sich solche Unterschiede zu erkennen geben. — 4. Ein fester und ein flüssiger K. seien in mehrere Teile geteilt. Welcher wesentliche Unterschied zeigt sich, wenn man die Teile wieder miteinander in Berührung bringt? — 5. Ein Papierstreifen sei an einem Ende mit W. in Berührung gebracht und werde darauf langsam gehoben. a. Wie giebt sich dabei ein innerer Zusammenhang des W. zu erkennen? b. Bei welcher

Haltung des Streifens tritt der Widerstand, den das W. einer Trennung seiner Teile entgegensetzt, am deutlichsten hervor? — **6.** Was muß man daraus schließen, daß ausströmendes Leuchtgas sich sehr bald auch an entfernteren Stellen eines Zimmers durch den Geruch bemerkbar macht? — **7.** Eine Flasche enthalte eine Menge Luftblasen (Seifenschaum). Welche Ersch. wird eintreten, wenn man durch Ansaugen Luft aus der Flasche entfernt? — **8.** Welche Eigenschaft giebt die in jenen Blasen eingeschlossene Luft dabei zu erkennen? — **9.** Welcher in der Natur sehr verbreitete flüssige K. kommt auch im festen und luftförmigen Zustande vor? — **10.** Führe bekannte Erschn. an, welche beweisen, daß a. stark erhitzte Wasserdämpfe, b. die durch das Entzünden von Schießpulver und Sprengstoffen entstehenden Gase jene Eigenschaft (8) in hohem Grade besitzen.

---

**§ 2. Ausdehnung und Undurchdringlichkeit.** Alle festen, flüssigen und luftförmigen Körper stimmen wiederum in gewissen Eigenschaften überein. Jeder feste Körper hat eine gewisse Länge, Breite, Höhe (Dicke oder Tiefe); er nimmt also einen Raum ein. Die flüssigen Körper füllen den Innenraum der Gefäße, in denen sie enthalten sind, ganz oder teilweise aus. Die luftförmigen Körper haben das Bestreben, jeden ihnen dargebotenen Raum ganz auszufüllen.

Jeder Körper nimmt einen Raum ein; er hat eine **Ausdehnung.**

Der Rauminhalt (das Volumen) der Körper wird je nach ihrer Größe in Kubikmillimetern, Kubikcentimetern u. s. w. ausgedrückt (Fig. 3).

Für Flüssigkeiten bildet das Kubikdecimeter oder Liter die Maßeinheit.

Fig. 3.

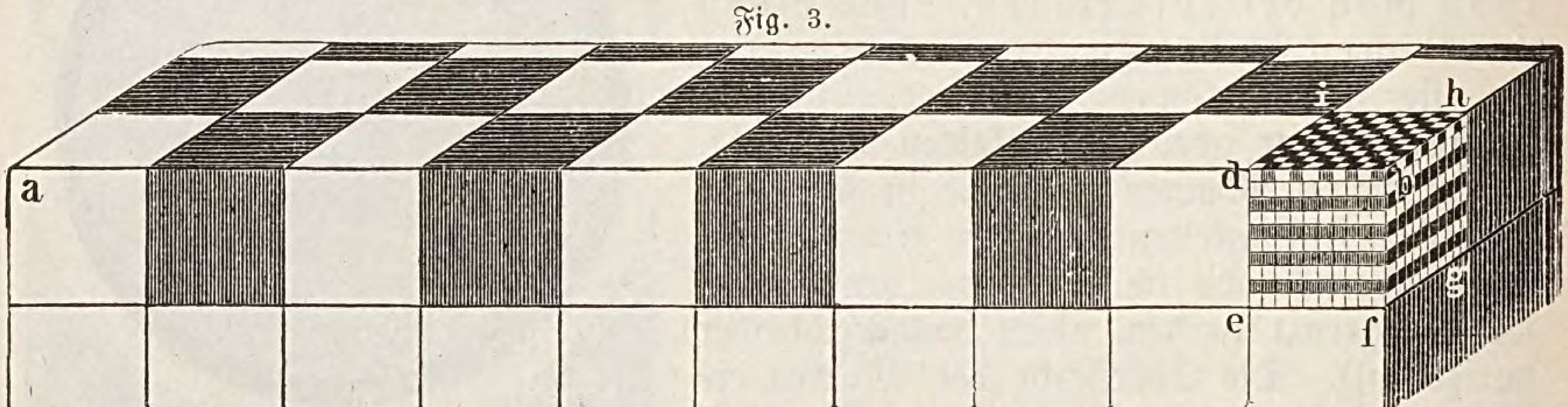
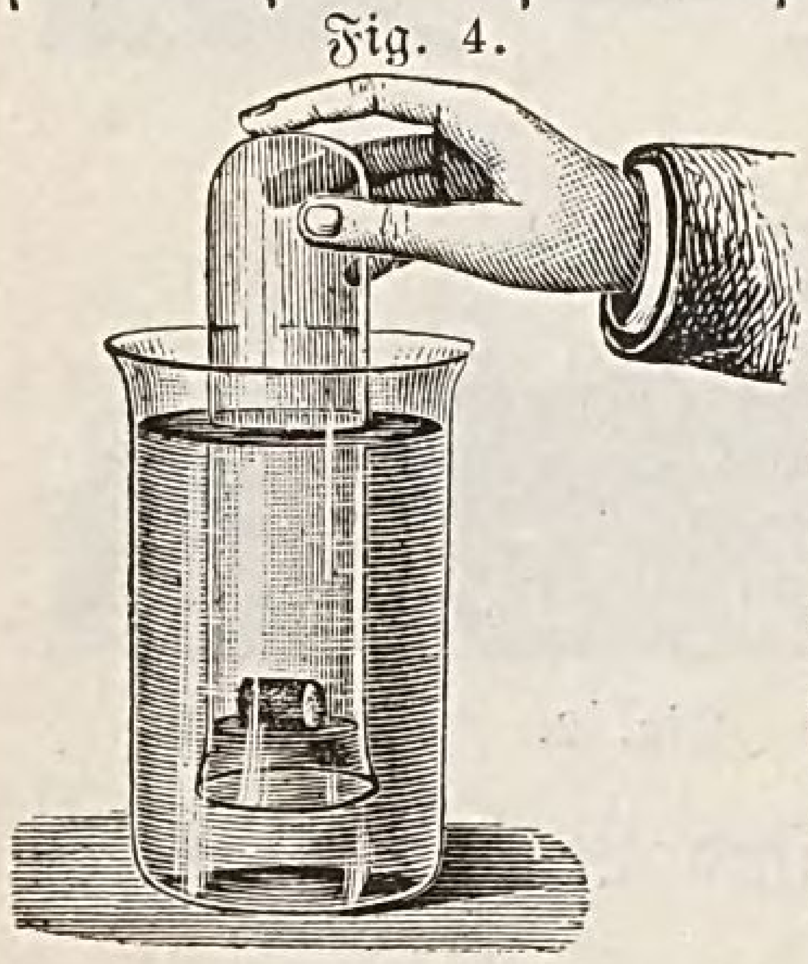



Fig. 4.



Soll ein fester Körper an die Stelle gebracht werden, an der ein sich anderer fester Körper befindet, so muß dieser vorher entfernt werden. Ist ein Gefäß bis zum Rande mit einer Flüssigkeit gefüllt, so fließt diese beim Eindringen eines anderen Körpers über. Kann der in einem Gefäße enthaltene luftförmige Körper nicht entweichen, so vermag eine Flüssigkeit nicht oder doch nur sehr wenig in das Gefäß einzudringen (Fig. 4). Aufsteigen von Luftblasen, wenn ein in Wasser untergetauchtes Gefäß sich mit Wasser füllt!

An derselben Stelle, an der sich ein Körper befindet, kann nicht gleichzeitig ein anderer Körper sein: **Undurchdringlichkeit** oder **Sperrigkeit.**

Das, was den von einem Körper eingenommenen Raum ausfüllt und sich dem Eindringen in diesen Raum widersetzt, wird der **Stoff** des Körpers genannt.

Beispiel: Glas ist der Stoff, aus dem eine Fensterscheibe besteht.

Auf der Undurchdringlichkeit oder Sperrigkeit der Luft beruht die Anwendung der **Taucherglocken** (Fig. 5, folg. Seite), in denen Arbeiter mit den nötigen Werkzeugen in tiefe Gewässer hinabgelassen werden, um versunkene Gegenstände

heraufzuholen oder gewisse Arbeiten zu verrichten. Die Taucherglocken bestehen aus einem großen eisernen Kasten, der oben mit starken Glasfenstern versehen und unten offen ist. Im Innern des Kastens sind Bänke angebracht. Da die Luft in der Taucherglocke durch das Atmen der Arbeiter verderben würde, so wird durch einen Schlauch beständig frische Luft zugeführt. Zum Arbeiten außerhalb der Glocke trägt jeder Taucher einen luftdicht schließenden Anzug, der durch einen Schlauch mit der Glocke in Verbindung steht.

Fig. 5.



Die ersten Tauchapparate (erfunden 1716) hatten die Form einer Glocke, daher ihr Name. In neuerer Zeit werden meist nur *Taucheranzüge* angewandt. Hierbei trägt der Taucher bei längerem (mehrstündigem) Aufenthalte unter Wasser einen tornisterähnlichen *Luftbehälter* auf dem Rücken, der so eingerichtet ist, daß die von oben zugeführte Luft aus der Luftkammer des Behälters zum Munde gelangen kann, während die ausgeatmete Luft durch Ventile entweicht.

---

**Übungsstoff. 1.** Der Rauminhalt eines unregelmäßig gestalteten K., etwa eines Steines, läßt sich annähernd dadurch finden, daß man den K. an einen Faden in W. untertaucht. Wie müßte man weiter verfahren, wenn der Innenraum des Gefäßes seitlich durch Querstriche in ccm geteilt wäre? — **2.** Wie könnte man verfahren, wenn das Gefäß eine solche Teilung nicht hätte? — **3.** In Holz kann man Nägel einschlagen, man kann es durchbohren u. s. w. Warum ist dies kein Beweis gegen die Undurchdringlichkeit des Holzes? — **4.** Warum läßt sich für Luft die Eigenschaft der Undurchdringlichkeit nicht ebenso einfach nachweisen, wie für Flgkn.? — **5.** Leite aus dem Gebrauche der Taucherglocke einen Beweis für diese Eigenschaft ab. — **6.** Ein Glascylinder werde senkrecht in W. eingetaucht. Wie wird sich dabei der Spiegel des vom Cylinder eingeschlossenen W. verhalten, wenn der Cylinder oben a. offen, b. verschlossen ist, u. w.? **7.** Ein auf W. schwimmender Kork soll, ohne daß man ihn berührt, unter den Wasserspiegel im Gefäße hinabsinken. Ausführung (Fig. 4). — **8.** Wie erklärt sich die auffällige Ersch., daß das W. bei genügendem Verschluß der Flasche (Fig. 6) nicht durch den offenen Trichter hindurchfließen kann? — **9.** Warum darf hierbei die Mündung der Trichterröhre nicht jede beliebige Weite haben? — **10.** Was ergiebt sich hieraus (8 und 9) für den Gebrauch des Trichters im praktischen Leben? — **11.** Wodurch wird das beim Gebrauche eines Trichters oft entstehende zischende Geräusch hervorgerufen? — **12.** Wenn die Flgk. in dünnem Strahle in den Trichter gegossen wird, so tritt jenes Geräusch nicht so leicht ein; w.? — **13.** Wie läßt sich nachweisen, daß offene Gefäße, die man nach dem Sprachgebrauche als *leer* bezeichnet, in Wirklichkeit doch nicht leer sind?

Fig. 6.



---

**§ 3*. Trägheit oder Beharrungsvermögen.** Nach unseren Beobachtungen befinden sich die Körper entweder im Zustande der *Ruhe*, d. h. sie beharren an demselben Orte, oder im Zustande der *Bewegung*, d. h. wir nehmen eine Ortsveränderung an ihnen wahr.

Zahlreiche Erfahrungen belehren uns darüber, daß *ruhende Körper nicht von selbst in Bewegung geraten können*, sondern einer äußeren Einwirkung bedürfen, damit sie den Ort, an dem sie sich befinden, ihre Lage oder ihre Gestalt ändern. Bei *Körpern, die sich in Bewegung befinden* (z. B. Schwungrad, Kreisel), macht es zwar häufig den Eindruck, als ob sie von selbst wieder zur Ruhe kämen; es läßt sich jedoch nachweisen, daß äußere Hindernisse die Bewegung aufheben (Reibung, Widerstand der Luft u. s. w.), sowie daß sie sich um so länger fortsetzt, je mehr diese Hindernisse beseitigt werden. *Beispiele von ununterbrochener Bewegung sind die Bewegungen der Himmelskörper.* Da sich auch die Erde im Weltenraume bewegt, so sind

alle auf ihr befindlichen Körper, die sich scheinbar in Ruhe befinden, in Wirklichkeit im Zustande der Bewegung.

Die Körper können weder von selbst in Bewegung geraten, noch ihren Bewegungszustand von selbst ändern: **Trägheit** oder **Beharrungsvermögen.**

Jede Ursache, durch die eine Änderung in dem Zustande eines Körpers (eine Bewegung) hervorgerufen werden kann, wird Kraft genannt.

Beispiele von Kräften sind: die Kraft der Menschen und Tiere, die Kraft des fließenden Wassers und des Windes, die Dampfkraft u. s. w.

Infolge der Trägheit der Körper ist stets eine gewisse Zeit dazu erforderlich, eine Veränderung in dem Zustande der Ruhe oder der Bewegung eines Körpers hervorzurufen, Ein ruhender Eisenbahnzug z. B. kann nicht plötzlich schnell fahren, und umgekehrt. Zieht die Lokomotive anfangs zu stark an, so zerreißen die Verbindungsketten, weil die Bewegung sich nicht so schnell auf die Wagen übertragen kann; stoßen zwei schnell fahrende Züge gegeneinander, so werden oft Lokomotive und Wagen zertrümmert, da diese ihre Bewegung fortsetzen wollen u. s. w.

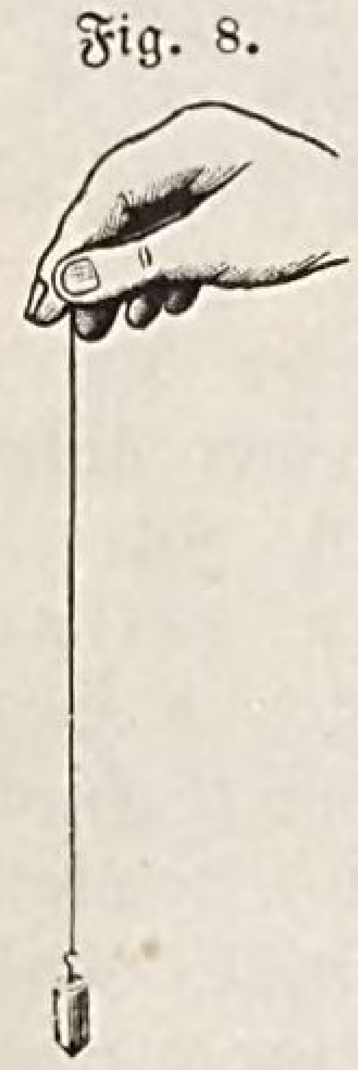
---

**Übungsstoff.** 1. In welchem Zustande befinden sich die Gegenstände auf einem Schiffe während der Fahrt a. in Bezug auf das Schiff selbst, b. in Bezug auf einen Punkt außerhalb des Schiffes? — 2. Welcher Täuschung ist man ausgesetzt, wenn man bei bewegtem Gewölke den Mond, oder von einem fahrenden Eisenbahnwagen aus nahe Gegenstände betrachtet? — 3. Führe Fälle an, in denen es sich deutlich zeigt, daß ein bewegter K. um so länger in Bewegung bleibt, je geringer die Reibung ist. Die Bewegung sei a. eine fortschreitende, b. eine drehende. — 4. Durch einen Druck mit dem Finger kann eine Thür leicht in ihren Angeln bewegt werden, während sie sich durch einen kräftigen Schlag mit dem Hammer wohl zerschlagen, aber kaum bewegen läßt. Grund? — 5. Nach welcher Seite fließt der Inhalt eines gefüllten Tellers beim schnellen Fortziehen desselben leicht über? Erkl.! — 6. Auf einem Wagen fällt man leicht nach hinten hinüber, wenn er plötzlich angezogen wird, dagegen nach vorn, wenn er plötzlich stillsteht. Erkl.! — 7. In welcher Richtung fällt man leicht zu Boden, wenn man von einem schnell fahrenden Wagen nach hinten so abspringt, daß der Rücken dem Wagen zugewandt ist? — 8. Warum ist es im allgemeinen gefährlicher, während der Fahrt aus einem Eisenbahnwagen, als von einem mit Pferden bespannten Wagen zu springen? — 9. Wie kann man ohne große Gefahr von einem nicht zu schnell fahrenden Wagen abspringen? — 10. Warum ist es gefährlich, bergab schnell zu laufen oder zu fahren? — 11. Welcher Gefahr ist ein Reiter ausgesetzt, wenn das Pferd im schnellen Laufe plötzlich stillsteht? — 12. Wie erklärt es sich, daß Kugeln noch fortfliegen, wenn das Pulver nicht mehr auf sie einwirken kann? — 13. Andere ähnliche Beispiele! — 14. Wie muß man verfahren, um von zwei aufeinander liegenden Büchern das untere so wegzuziehen, daß das obere, ohne berührt zu werden, liegen bleibt? — 15. Inwiefern tritt bei dem in Fig. 7 dargestellten, bekannten Versuche das Gesetz der Trägheit hervor? Beschreibung und Erkl.! — 16. Wie pflegt man Hämmer, Äxte u. s. w. auf ihren Stielen zu befestigen? Erkl.! — 17. Wie muß ein Schlittschuhläufer verfahren, um über schwaches Eis am sichersten hinwegzukommen?

Fig. 7.



Fig. 8.



---

## § 4. Schwere und Gewicht.

Wenn man einen festen Körper, etwa einen Stein, auf die Hand legt, so empfindet man einen **Druck**; hält man ihn frei an einen Faden, so ist ein **Zug** bemerkbar (Lot, Fig. 8). Druck und Zug sind senkrecht oder lotrecht (vertikal) gerichtet und bei verschiedenen Körpern von ungleicher Stärke (Beispiele!). Wird dem unterstützten Körper seine Unterlage entzogen, so **fällt** er senkrecht zu Boden. — Dieselben Wahrnehmungen machen wir auch bei den Flüssigkeiten. (Bspl.: Gefülltes und leeres Glas,

Fall der Regentropfen bei ruhiger Luft.) — Auch für die *luftförmigen Körper* lassen sich Druck- und Zugwirkungen nachweisen. Wenn z. B. aus einem Gefäße von 1 Liter Rauminhalt alle Luft entfernt wird, so wird es ungefähr um ebensoviel leichter, als wenn aus einem mit Wasser gefüllten Gefäße $1\frac{1}{3}$ ccm Wasser ausgegossen wird. (1 Liter Luft von der Beschaffenheit der uns umgebenden Luft wiegt ungefähr $1\frac{1}{3}$ g.)

Da die Erde Kugelgestalt hat, so müssen die Verlängerungen aller lotrechten Linien im *Mittelpunkte der Erde* zusammentreffen.

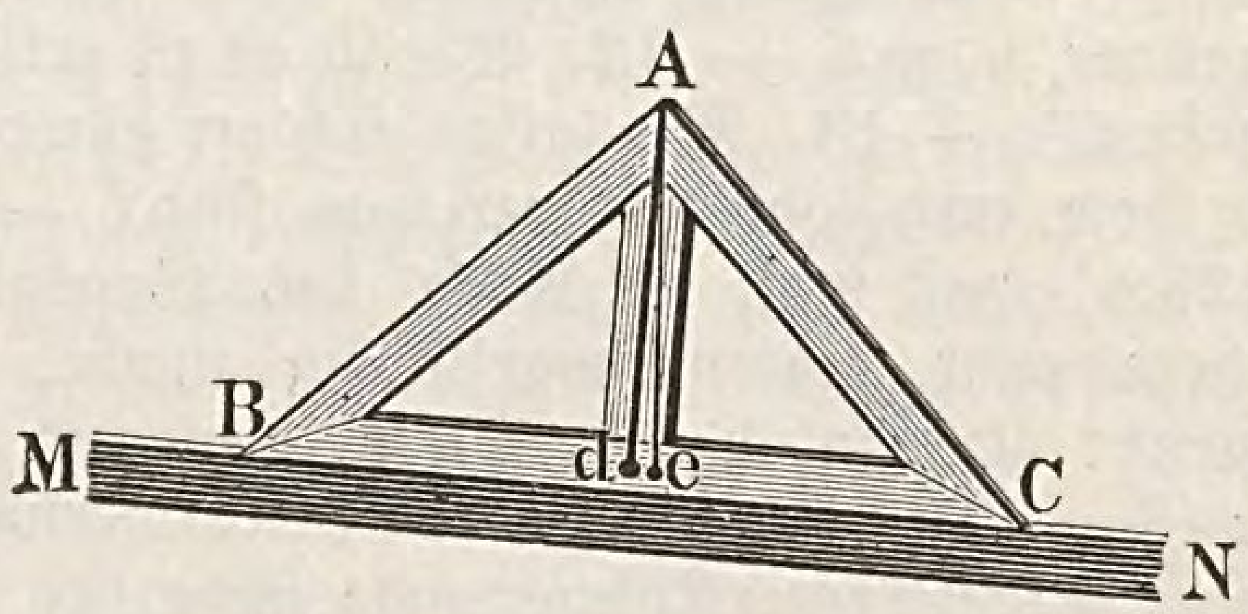
Alle Körper sind **schwer**, d. h. sie haben das Bestreben, sich geradlinig dem Mittelpunkte der Erde zu nähern. Dies ist eine Wirkung der *Schwerkraft* oder der *Anziehungskraft der Erde*.

Eine allgemeine und sehr nützliche Anwendung findet die Schwere bei unseren Wanduhren. Indem die Gewichtstücke der Uhr einen Zug ausüben, halten sie das Räderwerk in Bewegung.

### Lot und Wage.

Zur Bestimmung der lotrechten Richtung wird im praktischen Leben das **Lot** (Fig. 8) angewandt. In Verbindung mit einem hölzernen Gestelle von der Form eines gleichschenkligen Dreiecks läßt sich das Lot in vielen Fällen auch zur Bestimmung der *wagerechten* Richtung anwenden: **Setzwage** (Fig. 9).

Fig. 9.




Die *Größe des Druckes* oder *Zuges*, den ein Körper durch die Schwere in lotrechter Richtung ausübt, wird sein **absolutes Gewicht** oder kurzweg sein **Gewicht** genannt.

Als Maß für das Gewicht der Körper dienen die Gewichtseinheiten: Gramm (g), Kilogramm (kg) u. s. w. 1 g ist das Gewicht eines ccm reinen Wassers von $+ 4^0$ C, 1000 g = 1 kg entspricht dem Gewichte von 1 Liter solchen Wassers. (Bei $+ 4^0$ C hat Wasser seine größte Dichtigkeit.)

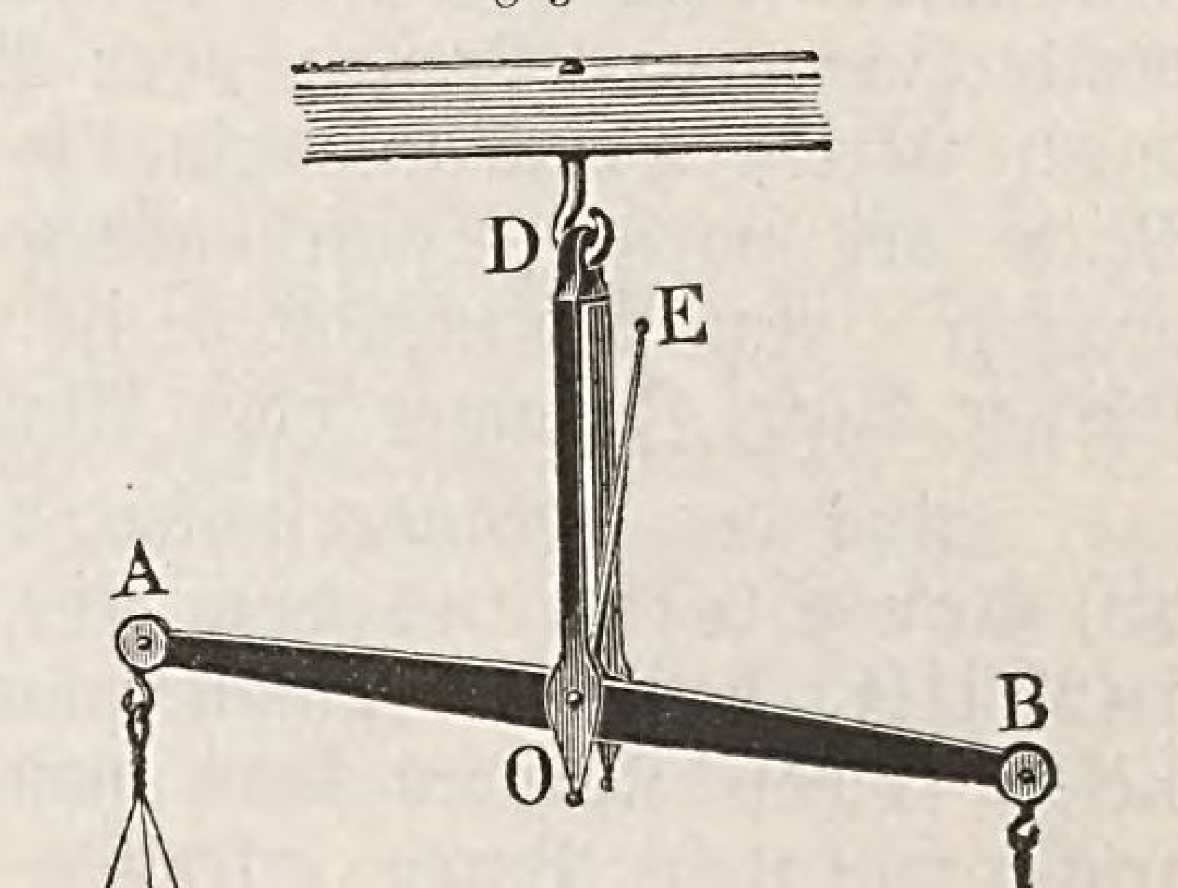
Das *Gewicht der Körper* bestimmt man mit einer **Wage**. Man unterscheidet *Federwagen* und *Balkenwagen*.

a. **Die Federwage** (Fig. 10) besteht gewöhnlich aus einem walzenförmigen *Gehäuse*, das einen schraubenförmig gewundenen *Stahldraht* enthält, auf den die Last von oben durch einen Druck oder von unten durch einen Zug einwirkt. Zur Angabe des Gewichtes ist entweder das Gehäuse selbst oder eine an diesem befestigte kreisrunde Scheibe mit einer durch Zahlen bezeichneten Teilung versehen. Im ersteren Falle wird das Gewicht durch einen mit der Feder verbundenen Stift (Fig. 10), im letzteren durch einen Zeiger angezeigt, der sich wie ein Uhrzeiger vor der Scheibe dreht.

Fig. 10.




Fig. 11.




b. **Die gemeine Krämerwage** (Fig. 11) ist die gebräuchlichste von allen

Balkenwagen. Ein unbiegsamer, metallener Balken (AB), der in seiner Mitte (O) in einer gabelförmigen Schere (DO) leicht beweglich aufgehängt ist, trägt an jedem Ende an Schnüren oder Ketten eine Wagschale (F und G). Die eine der beiden Schalen dient zur Aufnahme des zu wägenden Körpers, die andere zur Aufnahme der Gewichtstücke. Ein mitten auf dem Wagebalken befestigter Stab, die sogen. Zunge (EO), zeigt an, ob der Balken wagerecht steht und beide Schalen gleichstark belastet sind.

---

**Übungsstoff.** 1. Nenne feste K., welche bei gleicher Größe einen sehr ungleichen Druck oder Zug ausüben. — 2. Wie läßt sich dies z. B. mit Hilfe einer Gummischnur nachweisen? — 3. Was für Winkel bildet ein Lot mit der Oberfläche von ruhig stehendem W.? — 4. Desgl. bei fließendem W.? — 5. In einer langen Glasröhre soll eine Bleikugel so hinabfallen, a. daß sie die Röhre während des Fallens nicht berührt, b. daß man sie darin hinabfallen hört. Wie ist dies auszuführen? — 6. Was wird eintreten, wenn man das Gewichtstück einer Wanduhr ein wenig aufhebt, u. w.? — 7. Die im Winter bei Tauwetter von den Dächern herabrutschenden Schneemassen und die bei Dachreparaturen herabfallenden Steine schlagen um so weiter über die Dachtraufe hinaus, je höher sie herabkommen. Erkl.! — 8. Wie erklärt es sich, daß in die Höhe geschossene Kugeln wieder zur Erde zurückkommen? — 9. Was sollte man nach § 3 von denselben eigentlich erwarten? — 10. Warum können die Fallrichtungen zweier weit voneinander entfernter K. nicht parallel sein? — 11. Welche Richtung haben zwei viele Meilen voneinander entfernte Türme gegeneinander, u. w.? — 12. Wie ist es zu erklären, daß unsere Gegenfüßler nicht von der Erde abfallen? — 13. Wie lassen sich an einer Federwage die Punkte bestimmen, die zur Angabe des Gew. mit Zahlen zu versehen sind? — 14. Der leichte Gang einer Wage läßt sich dadurch erhöhen, daß man die Achse des Wagenbalkens, d. h. die Schneide, mit der er in der Schere ruht, unten scharfkantig macht. Erkl.! — 15. Die Schneide, sowie ihr Lager bestehen gewöhnlich aus Stahl, also aus einem härteren Metalle als der Balken; warum wohl? — 16. Warum ist eine Krämerwage ohne Zunge weniger brauchbar? — 17. Bei einer belasteten Krämerwage stehe der Wagebalken ein wenig schräg. In welchem Falle kommt a. der Käufer, b. der Verkäufer zu kurz? — 18. Der Balken einer Krämerwage stehe unbelastet schräg (der eine Arm sei etwas leichter als der andere), nach der Belastung dagegen wagerecht. Wer kommt dann zu kurz, wenn die Ware a. auf die höher stehende, b. auf die tiefer stehende Schale gelegt wird?

---

**§ 5*. Porosität und Teilbarkeit.** Der Rauminhalt der Körper läßt sich durch Erwärmen derselben vergrößern und durch Abkühlen wieder verkleinern (§ 59). Auch äußere Kräfte (Druck und Zug) vermögen eine Änderung des Rauminhaltes zu bewirken. Manche feste Körper, namentlich die Metalle, werden durch Hämmern, Pressen oder Walzen dichter. Flüssigkeiten erleiden selbst durch starken Druck nur eine so geringe Raumverkleinerung, daß man bis zur Mitte des vorigen Jahrhunderts glaubte, sie seien überhaupt nicht zusammenpreßbar. Am bedeutendsten ist die Raumveränderung, welche luftförmige Körper durch Zunahme oder Abnahme eines äußeren Druckes erleiden (§ 33).

Aus der Veränderlichkeit des Rauminhaltes der Körper läßt sich schließen, daß der Stoff, aus dem die Körper bestehen, den Raum nicht ganz ausfüllt, daß also Zwischenräume oder Poren vorhanden sein müssen. — In vielen festen Körpern kann man schon mit bloßen Augen oder mit einem Vergrößerungsglase Poren erkennen. (Beispiele!) Bei anderen läßt sich aus dem Eindringen von Flüssigkeiten schließen, daß sie Poren enthalten (Thüren und Fenster quellen bei feuchter Luft, Ziegel- und Mauersteine sind nach anhaltendem Regenwetter noch längere Zeit feucht, aus Kreide steigen im Wasser Luftblasen auf u. s. w.) Auch flüssige und luftförmige Körper enthalten in ihrem Innern Poren. Das Wasser z. B. enthält Sauerstoff, der von den im Wasser lebenden Tieren eingeatmet wird; Brunnenwasser ist reich an Kohlensäure und erlangt dadurch den bekannten frischen Geschmack. Die uns umgebende Luft

enthält zu jeder Zeit Wasserdämpfe; wie diese, so verbreiten sich auch andere luftförmige Körper, z. B. Leuchtgas, leicht in der Luft.

Der Stoff der Körper füllt den Raum, den die Körper einnehmen, nicht vollständig aus; im Innern aller Körper sind Poren vorhanden: **Porosität.**

Im gewöhnlichen Leben pflegt man nur die Körper porös zu nennen, deren Poren leicht zu erkennen sind, z. B. Badeschwämme, Holz, Bimsstein u. s. w.

Manche feste Körper lassen sich in zahlreiche Stücke zerschlagen, andere lassen sich zerschneiden, zerfeilen, zerreiben u. s. w. (Beispiele!) Eine sehr weitgehende Teilung zeigen gewisse feste Körper beim Verflüssigen (Farbstoffe), namentlich aber beim Verflüchtigen (riechende Stoffe). Flüssigkeiten kann man tropfenweise ausgießen und die Tropfen selbst wieder teilen, durch Erwärmung können sie verdampfen u. s. w. Aus diesen und zahlreichen anderen Erscheinungen schließt man:

Alle Körper besitzen die Eigenschaft der **Teilbarkeit;** jeder Körper ist aus äußerst kleinen, nicht weiter teilbaren Teilchen (Massenteilchen oder Molekülen) zusammengesetzt.

Die Körper bilden hiernach sämtlich sogen. Aggregate, d. h. Anhäufungen kleinster Massenteilchen. Dies ist der Grund, warum man die drei Zustände der Körper, nämlich den festen, flüssigen und luftförmigen Zustand, als Aggregatzustände bezeichnet. — Die Ausdehnung, Undurchdringlichkeit, Trägheit, Schwere und Teilbarkeit sind, da sie allen Körpern ohne Ausnahme zukommen, **allgemeine Eigenschaften.** Die Porosität dagegen ist keine ganz allgemeine Eigenschaft, da Glas nicht porös ist. — Eigenschaften, die nur gewissen Körpern zukommen, heißen **besondere Eigenschaften.** (Beispiele!)

---

**Übungsstoff.** 1. Nenne feste K., die sich schon mit den Fingern zusammendrücken lassen, aber nach dem Aufhören des Druckes ihren ursprünglichen Raum mehr oder weniger wieder einnehmen. — **2.** Wodurch unterscheidet sich geschmiedetes Eisen von einem gleichschweren Stücke Gußeisen hinsichtlich des Rauminhaltes? — **3.** Münzen werden geprägt, Bleche gewalzt, Drahtstifte und Nägel gepreßt. Welchen Einfluß muß dies a. auf die innere Beschaffenheit, b. auf das Gewicht gleicher Raumteile der betreffenden Metalle ausüben? — **4.** Wie kann man nachweisen, daß sich die Luft leicht zusammendrücken läßt? — **5.** Wie verhält sich die zusammengepreßte Luft, wenn der äußere Druck nachläßt? — **6.** Worauf beruht es, daß der Regen in den Boden eindringen kann? — **7.** Wodurch giebt sich bei Regenwetter die Porosität unserer Kleider zu erkennen? — **8.** Nenne K., deren Poren mit bloßen Augen leicht erkannt werden können; ferner solche, die dem bloßen Auge nicht porös erscheinen. — **9.** Wodurch giebt sich die Porosität des weißen Zuckers leicht zu erkennen? — **10.** Wie kann man nachweisen, daß Schreibpapier porös ist? — **11.** Inwiefern kommt die Porosität des W. den darin lebenden Geschöpfen zu gute? — **12.** Durch Filtrierpapier kann man Kaffee u. dgl. klären; wie? Grund! — **13.** Wenn glasierte Thongefäße (z. B. Tassen, Teller) mit heißen Flgkn. gefüllt werden, so steigen oft aus kleinen Rissen zahlreiche Luftbläschen darin auf. Erkl.! (Leises Singen wie beim Kochen von W.) — **14.** Welche Schlüsse lassen sich aus der Ersch. ziehen, daß einige Salz- oder Zuckerkörner ausreichen, den Geschmack eines ganzen Glases W. zu ändern? — **15.** Die geringste Menge Moschus kann jahrelang ein ganzes Zimmer mit dem Moschusgeruche erfüllen. Wofür ist dies ein Beweis? — **16.** Inwiefern kann uns eine stark duftende Blume über die Teilbarkeit des Stoffes belehren? (Blumenduft wird durch Verflüchtigung ätherischer Öle hervorgerufen.)

---

## Wirkungen der Molekularkräfte.

**§ 6*. Kohäsion und Expansion.** Der Zusammenhang der kleinsten Teilchen eines und desselben festen oder flüssigen Körpers wird Kohäsion genannt.

Die Erscheinung, daß die kleinsten Teilchen der luftförmigen Körper jeden ihnen dargebotenen Raum ausfüllen, heißt Expansion.

Die Ursache der Kohäsion und Expansion erkennt man in anziehenden und abstoßenden Kräften, die zwischen den kleinsten Teilchen der Körper wirksam sind: **Molekularkräfte.**

Die beiden Ausdrücke Kohäsion und Expansion werden auch wohl für die Molekularkräfte selbst gebraucht.

In festen Körpern wirken die Anziehungskräfte am stärksten, in flüssigen ist ihre Wirkung durch die Abstoßungskräfte nahezu, in luftförmigen aber ganz aufgehoben. Durch Wärme werden die anziehenden Molekularkräfte geschwächt, die abstoßenden verstärkt. Eis z. B. kann durch Erwärmung flüssig gemacht, Wasser dadurch in Dampf verwandelt werden. Die in Kochtöpfen sich entwickelnden Wasserdämpfe können den Deckel der Töpfe aufheben; stark erhitzte Wasserdämpfe können Maschinen treiben, Kessel zersprengen u. s. w.

Auf der Kohäsion beruhen die bekannten Eigenschaften: hart, weich, spröde, zähe, elastisch und unelastisch. **Elastisch** nennt man Körper, die das Bestreben zeigen, nach einer durch Druck oder Zug bewirkten Veränderung ihrer Gestalt (also nach einer gegenseitigen Verschiebung ihrer Teilchen) die ursprüngliche Gestalt wieder anzunehmen, z. B. Kautschuk, Bügel oder Federn von Stahl, dünne Glasfäden u. s. w. Wird die Gestalt eines festen Körpers über eine gewisse Grenze hinaus verändert, so nimmt der Körper seine ursprüngliche Gestalt nicht wieder an (Elasticitätsgrenze). Luft ist vollkommen elastisch.

Im menschlichen und tierischen Körper bewirkt die Elasticität der festen Teile (besonders im jugendlichen Alter), daß Erschütterungen und Stöße, denen der Körper z. B. beim Laufen und Springen ausgesetzt ist, bedeutend abgeschwächt werden. Eine mannigfache Anwendung erfährt die Elasticität im praktischen Leben, indem sie nicht nur zur Abschwächung von Stößen dient (an manchen Fuhrwerken, in den Polstern von Möbeln u. s. w.), sondern auch als bewegende Kraft (Federn in Taschenuhren), ferner als Druckkraft (Federn in Thür- und Gewehrschlössern, an den Klappen mancher Blasinstrumente) und zur Gewichtsbestimmung (Federwage). — Für die Maschinen- und Bautechnik ist die genaue Kenntnis der Elasticitätsgrenzen der zu verwendenden Materialien ganz besonders wichtig (Bau von Eisenbahnbrücken).

---

**Übungsstoff.** 1. Vergleiche Eis, Wasser und Dampfkraft hinsichtlich der Stärke der zwischen den kleinsten Teilchen wirksamen Kräfte miteinander. — 2. Was würde eintreten, wenn man das bekannte Metall, das bei gewöhnlicher Temp. flüssig ist, a. einer bedeutenden Kälte aussetzte, b. stark erhitzte? — 3. Nenne einen festen K., in dem die abstoßenden Kräfte nach Entzündung des K. plötzlich und heftig wirken. — 4. Warum müssen an Dampfkesseln Sicherheitsventile angebracht werden? — 5. Vgl. Stahl und Blei, ferner Thon und Kautschuk hinsichtlich ihrer von der Kohäsion abhängigen Eigenschaften miteinander. — 6. Wie kann man prüfen, ob ein K. hart, weich, spröde, zähe oder elastisch ist? Beispiele! — 7. Welche verschiedene Eigenschaften kann Glas durch die Art der Abkühlung bei seiner Herstellung erlangen? — 8. Durch welche Vorrichtung findet an Kutschwagen die Elasticität eine nützliche Anwendung? — 9. Andere Beispiele! — 10. In welcher Weise kommt die Elasticität bei Taschenmessern, Flaschenkorken, Regen- und Sonnenschirmen zur Anwendung? — 11. Unterschied zwischen den Stößen beim Gehen auf Stelzen und auf den Füßen? Erkl.! — 12. Warum sollen beim Springen die Zehen und nicht die Hacken den Boden zuerst berühren? — 13. Wodurch lassen sich harte Metalle weich machen? — 14. Führe Beispiele für die Anwendung dieses Verfahrens an. — 15. Glas läßt sich mit Diamant, Eisen mit Glas, Kupfer mit Eisen, Blei mit Kupfer ritzen. Was folgt hieraus hinsichtlich der Härte dieser Stoffe! — 16. Wie verfährt man, um die Expansionskraft des Wasserdampfes nutzbar zu machen?

---

**§ 7*. Adhäsion und Kapillarität.** Man macht häufig die Wahrnehmung, daß zwei Körper, wenn sie miteinander in Berührung gebracht werden, aneinander haften. Eis z. B. haftet im Winter an den Fensterscheiben,

Siegellack haftet am Papier, Kreide an der Tafel, Staub an den Wänden, Tinte an der Feder u. s. w. Fig. 12 stellt eine Erscheinung dar, die sich beim Ausgießen von Flüssigkeiten häufig zeigt; welche?

Fig. 12.



Die Erscheinung, daß zwei Körper bei hinlänglicher Berührung aneinander haften, wird **Adhäsion** oder **Flächenanziehung** genannt.

Als Ursache der Adhäsion ist die zwischen den Teilchen verschiedener Körper wirksame Anziehungskraft anzusehen.

Alles Schreiben, Zeichnen, Anstreichen, Malen, Leimen, Kitten beruht auf Adhäsion, desgl. das Belegen der Spiegel mit Zinnamalgam, das Vergolden, Versilbern u. s. w.

Taucht man einen Schwamm oder Löschpapier zum Teil in Wasser, so dringt letzteres in die Poren des eingetauchten Körpers ein und steigt in demselben sogar über die Oberfläche des Wassers hinauf. Wendet man Quecksilber statt Wasser an, so tritt diese Erscheinung nicht ein, da jene Körper vom Quecksilber nicht benetzt werden.

Genaueres hierüber lehren Versuche nach Fig. 13 und 14. Werden 2 Glasröhren, von denen die eine bedeutend enger ist als die andere, einmal in Wasser (Fig. 13), ein andermal in Quecksilber (Fig. 14) getaucht, so erhält man entgegengesetzte Erscheinungen: a. Während das Wasser in beiden Röhren höher steht als im Gefäße, steht das Quecksilber tiefer; dieser Unterschied ist in der engeren Röhre am bedeutendsten; b. während die Wasseroberfläche in beiden Röhren hohl ist, ist die Oberfläche des Quecksilbers erhaben. Dies erklärt sich daraus, daß die Adhäsion des Wassers zum Glase größer ist als die Kohäsion des Wassers, daß beim Quecksilber hingegen die Kohäsion überwiegt.

Fig. 13.

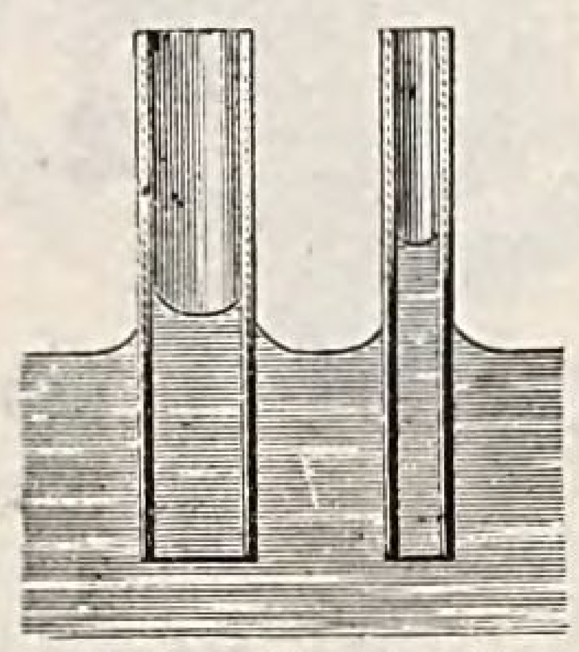
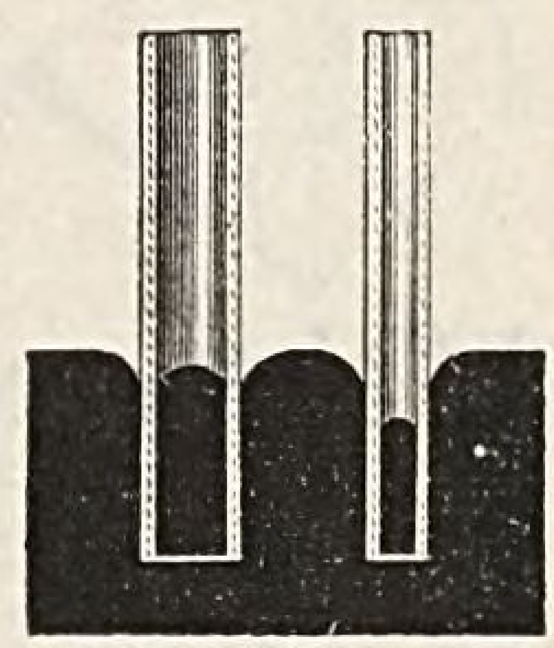


Fig. 14.

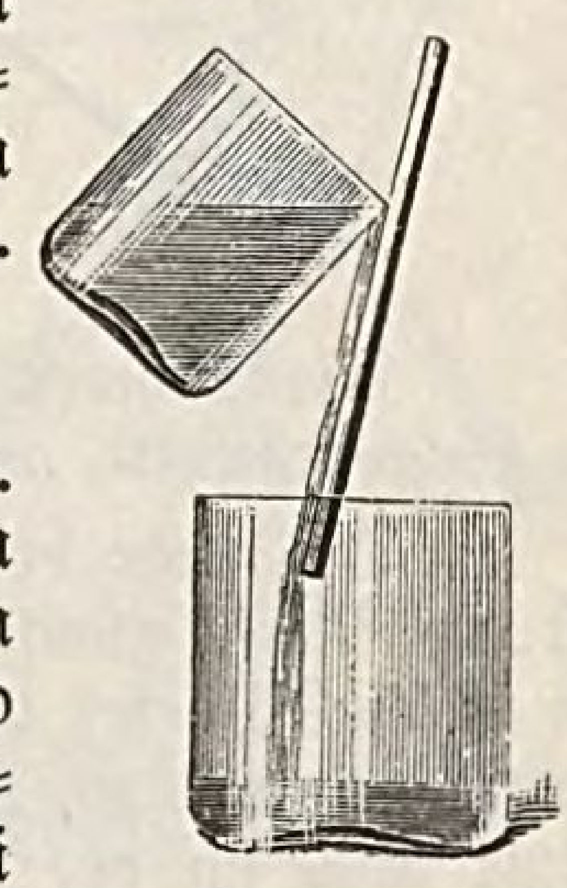


Sehr enge Röhren heißen **Kapillarröhren** oder **Haarröhrchen.**

Wird ein Haarröhrchen in eine Flüssigkeit eingetaucht, die das Röhrchen benetzt, so steigt die Flüssigkeit um so höher darin hinauf, je enger das Röhrchen ist; findet eine Benetzung nicht statt, so sinkt die Flüssigkeit im eingetauchten Röhrchen um so tiefer unter den Flüssigkeitsspiegel hinab, je enger das Röhrchen ist: **Kapillaritätserscheinungen** oder **Haarröhrchenwirkungen.**

In Schwämmen, Löschpapier, lockerem Boden u. s. w. bilden die zusammenhängenden Zwischenräume gleichsam Netze von Kapillarröhren. — Eine nützliche Anwendung im täglichen Leben findet die Kapillarität namentlich durch das Aufsaugen des Öls in den Dochten unserer Lampen, ferner beim Gebrauche von Schwämmen, Handtüchern u. dgl., beim Waschen der Kleidungsstücke, beim Dichten der Fugen von zusammengetrocknetem hölzernen Waschgerät u. s. w. — Um Gebäude in nassen Lagen gegen das Eindringen der Bodenfeuchtigkeit zu schützen, wird das Mauerwerk des Fundamentes mit Asphalt bestrichen. Schutz der Außenwände durch Ölfarbe oder Wasserglas.

Fig. 15.



**Übungsstoff.** 1. Wann tritt die in Fig. 12 dargestellte Ersch. leichter ein, a. wenn das Gefäß ganz oder nur teilweise gefüllt ist, b. wenn man Flgk. langsam oder schnell ausgießt? — 2. Beim Ausgießen von wässerigen Flgkn. tritt jene Ersch. nicht so leicht ein, wenn der Rand des Gefäßes an der betreffenden Stelle fettig ist; warum wohl? — 3. Welchen Zweck haben umgebogene Ränder und Tüllen an Gefäßen? — 4. Bei Gefäßen, deren Ränder diese Einrichtung nicht haben, kann man nach Fig. 15 verfahren.

In welcher Weise? — 5. Warum kann man auf fettigem Papier nicht schreiben? — 6. Warum werden Wasservögel im W. nicht naß? — 7. Goldene Ringe werden weiß, wenn sie mit Quecksilber in Berührung kommen. Erkläre dies. — 8. Quecksilbertropfen, die in die Ritzen des Fußbodens gelangt sind, lassen sich leicht dadurch aufsammeln, daß man sie mit einem gut gereinigten Zink- oder Kupferstreifen, nachdem man einen Qu.-Tropfen darauf zerrieben hat, berührt. Erkläre dies. — 9. Bei welchem Wetter macht sich an Ackergeräten und Fuhrwerk die Flächenanziehung am meisten bemerklich; inwiefern? — 10. Führe Fälle an, in denen sich die Flächen- und Haarröhrchenanziehung bei unseren Kleidungsstücken in unangenehmer Weise bemerklich macht. — 11. Was tritt ein, wenn man ein Stück Zucker mit W., Thee oder dergl. in Berührung bringt? — 12. Erkläre das Aufsteigen des Öls im Dochte, das Größerwerden von Fettflecken in Kleidungsstücken, von Tintenflecken in Löschpapier. — 13. Die Spannung von Zeugleinen, Schnüren von Rollvorhängen u. dergl. nimmt beim Eintritte von feuchtem Wetter noch zu. Wie mag sich dies erklären? — 14. Wodurch pflegt man unbeschädigte, aber undicht gewordene Fässer und Zuber wieder dicht zu machen, desgl. zu bewirken, daß die Reifen oder Speichen von Wagenrädern nach anhaltender Dürre wieder fest genug schließen? — 15. Saugpumpen liefern nur dann W., wenn der Kolben gut schließt. Die Röhre, in der der Kolben sich bewegt, besteht gewöhnlich aus Holz, der Kolben zum Teil aus Leder. Wie erklärt es sich somit, daß undicht gewordene Pumpen häufig dadurch wieder brauchbar gemacht werden können, daß man von oben W. hineingießt?

# 2. Abschnitt.

# Gleichgewicht und Bewegung der Körper.

## A. Von den festen Körpern.

### § 8*. Schwerpunkt und Gleichgewichtslagen. a. Schwerpunkt.

Fig. 16.

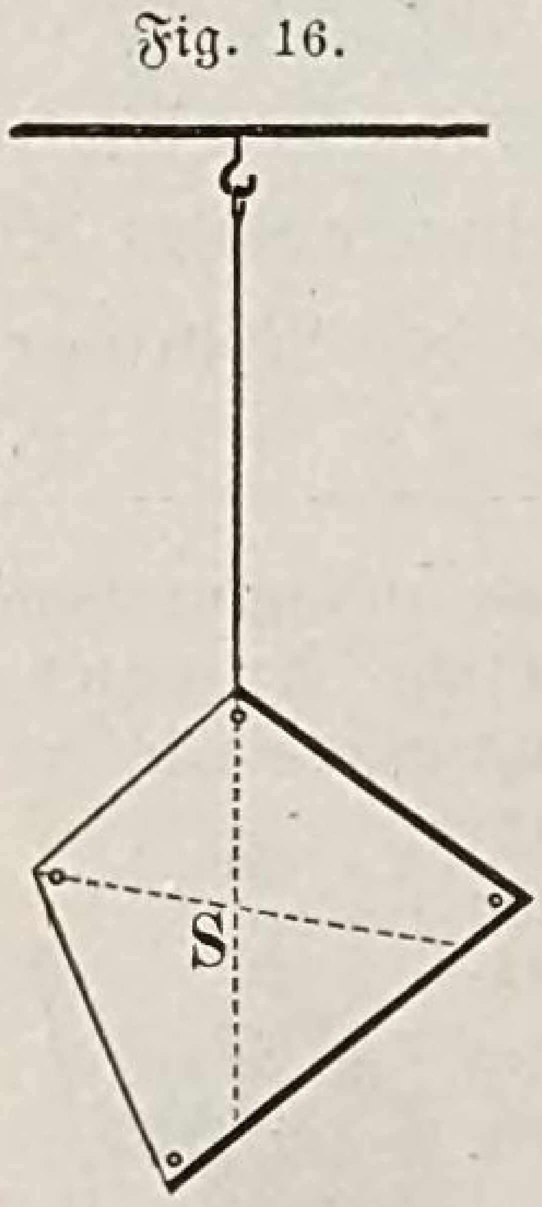
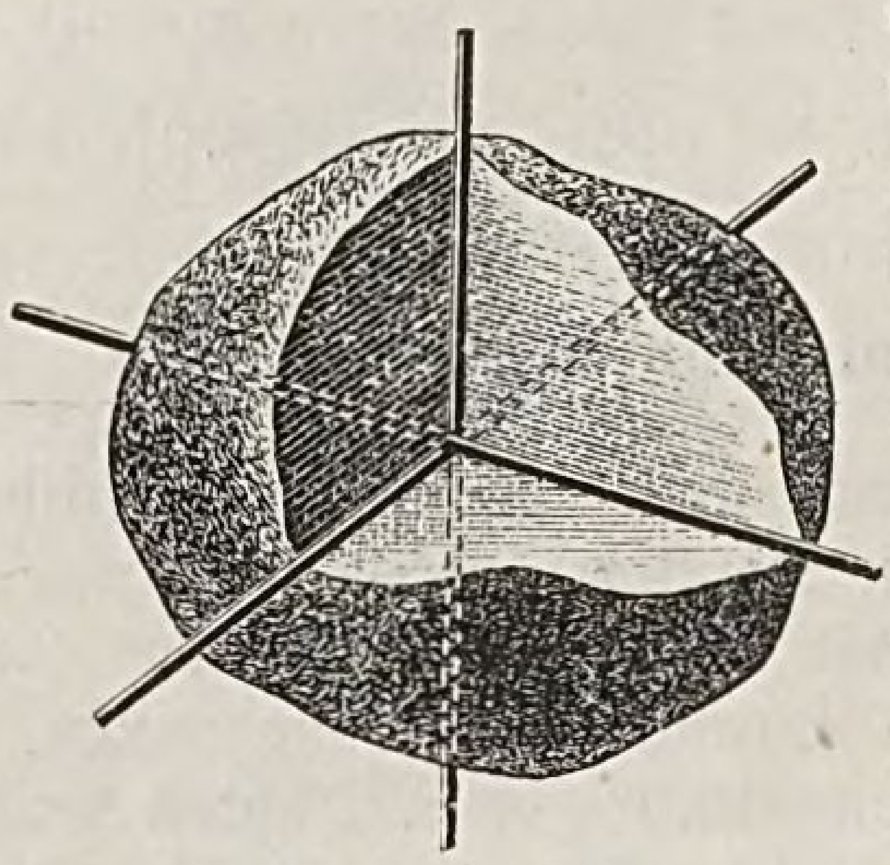



Fig. 17.



Hängt man einen Körper nacheinander in verschiedenen Punkten seiner Oberfläche an einem Faden auf (Fig. 16 und 17), so schneiden sich die geradlinigen Verlängerungen des Fadens in demselben Punkte. Wird der Körper in diesem Punkte unterstützt, so ist er in jeder Lage im Gleichgewichte. Dieser Punkt wird der **Schwerpunkt** des Körpers genannt.

Für jeden Körper giebt es einen Punkt, bei dessen Unterstützung der Körper im Gleichgewichte ist: Schwerpunkt.

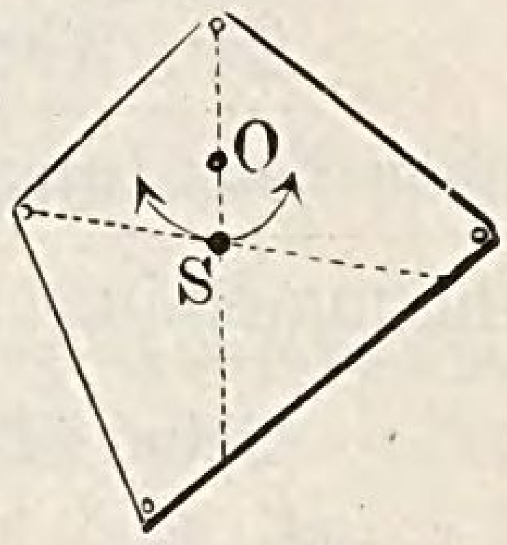
Die Schwerkraft wirkt hiernach auf jeden Körper so ein, als ob seine ganze Masse im Schwerpunkte vereinigt und der Körper selbst schwerlos wäre.

Die Lage des Schwerpunktes hängt von der Verteilung der Masse des Körpers ab. Ist die Masse gleichmäßig verteilt, so liegt bei einer Kugel der Schwerpunkt im Centrum, bei einem Würfel im Durchschnittspunkte der Diagonalen, bei einer Walze in der Mitte der Achse u. s. w. Bei ungleicher Verteilung der Masse des Körpers liegt der Schwerpunkt stets an der Seite, an der sich die größere Masse befindet. Ist ein Körper unregelmäßig gestaltet, so findet man den Schwerpunkt am einfachsten durch den Versuch (Fig. 17).

**b. Gleichgewichtslagen.** Wird ein Körper außerhalb seines Schwerpunktes (S, Fig. 18 und 19) in einem Punkte (O) oder in einer geraden Linie (Achse) drehbar unterstützt, so kann er sich nur dann im Gleichgewichte befinden, wenn die durch seinen Schwerpunkt gehende Senkrechte den Unterstützungspunkt oder die Achse trifft. Hierbei können je nach der Lage, die der Schwerpunkt gegen den Drehpunkt oder die Drehungsachse einnimmt, folgende Fälle eintreten:

1. Liegt der Schwerpunkt senkrecht unter dem Aufhängepunkte, so geht er, wenn der Körper aus seiner Gleichgewichtslage gebracht wird, in eine höhere Lage über (Fig. 18). Sich selbst überlassen, fällt der Körper nach jeder Bewegung wieder in die ursprüngliche Lage zurück: **stabile** oder **sichere Gleichgewichtslage.**

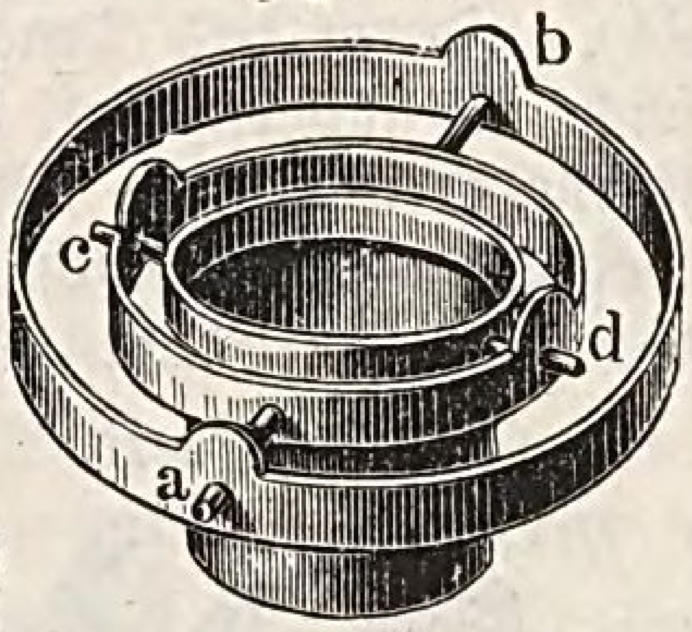
Fig. 18.




2. Liegt der Schwerpunkt senkrecht über dem Aufhängepunkte, so nimmt er durch den geringsten Anstoß des Körpers eine tiefere Lage ein (Fig. 19). Bei einer Drehung geht der Körper aus seiner früheren Lage in die sichere Gleichgewichtslage über: **labile** oder **unsichere Gleichgewichtslage.**

3. Findet bei der Drehung eines unterstützten Körpers weder eine Hebung noch eine Senkung seines Schwerpunktes statt, so ist der Körper bei jeder neuen Lage immer wieder im Gleichgewichte: **indifferente Gleichgewichtslage.**

Fig. 20.



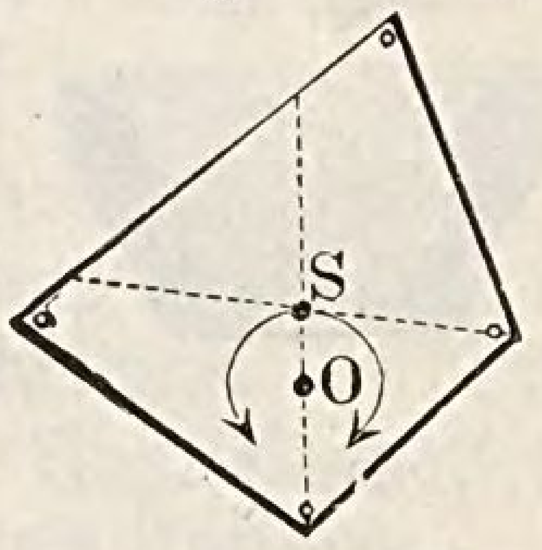



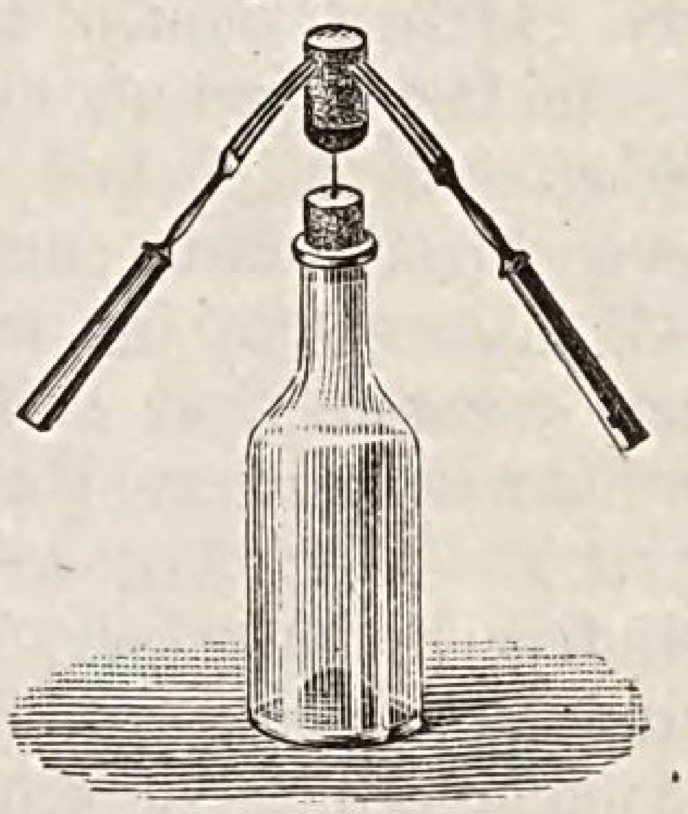

Fig. 19.

Die stabile Gleichgewichtslage ist wichtig für die Aufhängung der Wagebalken. Auch bei frei beweglichen Körpern, wie Schiffen, Kähnen u. dgl., strebt der Schwerpunkt eine möglichst tiefe Lage einzunehmen, da das Gewicht so wirkt, als ob es im Schwerpunkte vereinigt wäre. Lampen und Kompasse werden auf Schiffen in Ringen (Fig. 20) so aufgehängt, daß die eine Drehungsachse längs, die andere quer zum Schiffe gerichtet ist, damit trotz der Schwankungen des Schiffes die sichere Gleichgewichtslage jener Gegenstände erhalten bleibt. (Kardanische Aufhängung.)

---

**Übungsstoff. 1.** Wo liegt der Schwerpunkt einer geraden Metallstange, wenn diese a. überall gleichdick, b. keulenförmig ist? — **2.** Warum darf der Schwerpunkt eines Pfeiles nicht vorn liegen? — **3.** Wo liegt der Schwerpunkt von kreisförmigen und quadratischen Scheiben, die überall gleichdick sind und halb aus Kupfer, halb aus Eisen bestehen? — **4.** Die Scheiben seien aus Holzstücken zusammengesetzt; wie ist dann bei gleicher Dicke eine ungleiche Verteilung ihrer Masse möglich? (Einfluß auf die Lage des Schwerpunktes!) — **5.** Ein Ring werde in verschiedenen Punkten aufgehängt. Wo werden die Richtungslinien der Schwere sich dann treffen? — **6.** Nenne Hohlkörper, bei denen der Schwerpunkt eine ähnliche auffällige Lage hat. — **7.** In welcher Glgew.-Lage muß sich ein Wagebalken befinden, u. w.? — **8.** In welchen Glgew.-Lagen befinden sich 2 Kugeln, von denen die eine auf einer wagerechten Fläche ruht, die andere in einem Punkte ihrer Oberfläche frei aufgehängt ist? — **9.** Eine Kugel bestehe halb aus Blei und halb aus Holz. In welcher Lage befindet sie sich a. im stabilen, b. im labilen Glgew.? — **10.** Aus einem 3—4 cm langen Stückchen Holundermark und einem kurzen eisernen Nagel mit kugelschaligem Kopfe soll ein Körper zusammengesetzt werden, der sich von selbst aufrichtet, wenn man ihn niederlegt. Wie ist dies auszuführen? — **11.** Von den elfenbeinernen Würfeln eines Würfelspieles enthalte jeder ein Stückchen Blei. Welchen Einfluß könnte dies auf das Ergebnis des Spieles ausüben, und unter welcher Bedingung? — **12.** Eine in einen Kork eingeklemmte Münze bleibt auf einer Nadelspitze im Gleichgewicht, wenn 2 oder 3 Gabeln im Korke befestigt sind (Fig. 21). Versuche dies zu erklären!

Fig. 21.

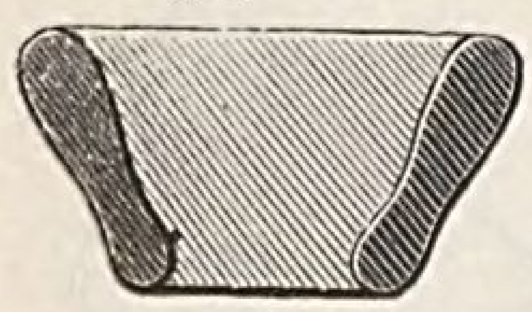


---

**§ 9*. Standfestigkeit der Körper.** Um einem Körper eine feste Stellung zu geben, unterstützt man ihn in mehreren Punkten, die nicht in einer geraden Linie liegen (Tische, Stühle, Schränke u. s. w.) Hierbei hängt die Standfestigkeit des Körpers, wie die Erfahrung lehrt, 1. von der Größe der Unterstützungsfläche, 2. von der Höhe, in welcher der Schwerpunkt liegt, und 3. vom Gewichte des Körpers ab. Auf einer Fußspitze steht man nicht so sicher, als wenn beide Sohlen den Boden berühren. Niedrige Lampen stehen sicherer als hohe; bei letzteren füllt man den Fuß mit Blei aus. Gefüllte Kisten oder Fässer sind nicht so leicht umzuwerfen als leere u. s. w. In allen derartigen Fällen liegt der Schwerpunkt des Körpers senkrecht über der Unterstützungsfläche desselben. Wird ein Körper gekippt, so kommt der Schwerpunkt schließlich über die Unterstützungsfläche hinaus; der Körper fällt dann, sich selbst überlassen, um.

Ein Körper ist nur dann *standfähig*, wenn sein Schwerpunkt senkrecht über der Unterstützungsfläche liegt; er steht um so *fester*, je größer seine Unterstützungsfläche und sein Gewicht ist und je *tiefer* sein Schwerpunkt liegt.

Fig. 22.



Beim *Menschen* bildet die Unterstützungsfläche ein Trapez (Fig. 22); der Schwerpunkt des Körpers liegt ungefähr in der Mitte des Leibes (Fig. 23 und 24). Durch das Tragen einer Last kann die Lage des Schwerpunktes sich leicht so ändern, daß die senkrechte Schwerlinie bei gerader Stellung des Körpers über die Unterstützungsfläche hinaus fallen würde (Fig. 23). Der Oberkörper muß daher nach vorn geneigt werden (Fig. 24), wenn die Last auf dem Rücken, nach rechts, wenn sie an der linken Seite getragen wird u. s. w.

Fig. 23.

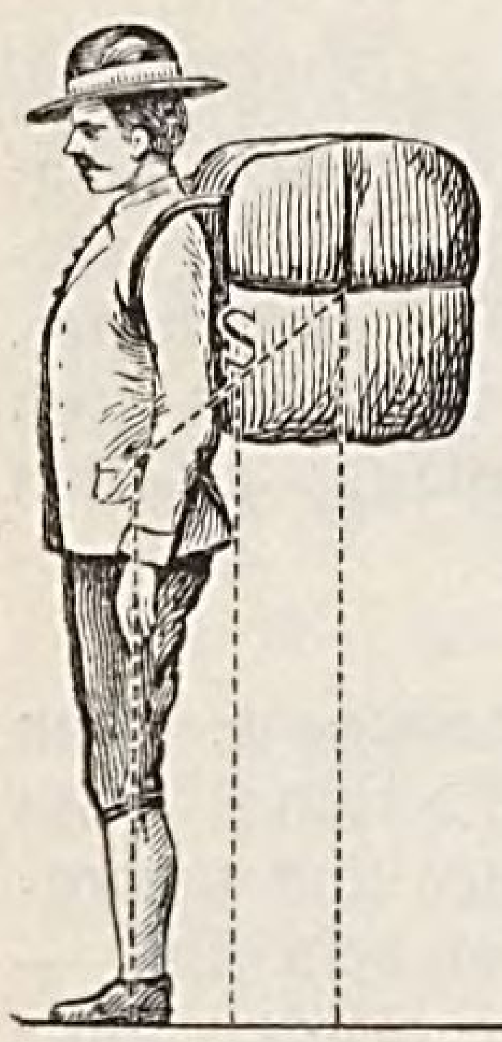




Fig. 24.





*Einen Körper, der nur eine sehr kleine Unterstützungsfläche hat, im unsicheren Gleichgewichte halten, heißt* **Balancieren.** Das Balancieren ist um so schwieriger 1) je leichter der Körper ist, weil man dann den Druck um so weniger fühlt, 2) je tiefer der Schwerpunkt des Körpers liegt, weil dann der Weg, den der Schwerpunkt beim Umfallen des Körpers zurücklegen muß, auch um so kleiner ist, so daß man nicht Zeit genug behält, den Schwerpunkt richtig zu verschieben.

---

**Übungsstoff.** **1.** Welche Haltung geben wir unserem K. unwillkürlich, wenn wir a. bergan, b. bergab gehen? Grund! — **2.** Desgl. auf einem Wagen, wenn dieser umzufallen droht? — **3.** Wodurch läßt sich bei hohen Leuchtern und Lampen die nötige Standfestigkeit erreichen, ohne daß man ihrem Fuße eine übermäßige Ausdehnung giebt? — **4.** Um von einem Sitze aufstehen zu können, führt man mit dem K. gewisse Bewegungen aus, die das Zurückfallen verhindern; welche? — **5.** Warum ist es nicht einerlei, ob man ein mit Flgk. gefülltes, offenes Gefäß beim Tragen oben oder unten anfaßt? — **6.** Warum werden bei Schiffen namentlich die am tiefsten gelegenen Räume belastet? (Schiffsballast.) — **7.** Welchen Einfluß übt es auf die Standfestigkeit eines Kahnes aus, wenn man in demselben aufrecht steht? — **8.** Wie steht man in in einem Kahne oder auf einem Wagen, wenn diese in Bewegung sind, am sichersten? — **9.** Warum geht man auf Stelzen unsicher? — **10.** Wenn man sich seitwärts auf *einem* Fuße dicht an eine Wand lehnt, so kann man den anderen nicht aufheben, ohne umzufallen; warum? — **11.** Ist ein Hammer oder Beil an seinem unteren Ende (am Holme) schwerer wagerecht zu halten, oder am oberen Ende? Erkl.! — **12.** Wie ändert sich die Lage des Schwerpunktes, wenn eine Last a. auf dem Rücken, b. auf einer Schulter, c. auf dem Kopfe, d. an einer Seite getragen wird, und wie muß der Körper in diesen Fällen gehalten werden? — **13.** Warum ist es schwer, auf einer schmalen Kante zu gehen? — **14.** Warum streckt man die Arme dabei aus? — **15.** Ein Messer oder Degen ist am leichtesten zu balancieren, wenn die Spitze nach unten gekehrt ist.

Erkl.! — **16.** Warum gehen Seiltänzer mit Hülfe einer an ihren Enden mit Blei beschwerten Stange (Balancierstange) auf einem Seile sicherer, als wenn sie nur ihre Arme ausbreiten?

---

## Die einfachen Maschinen und ihre einfachsten Verbindungen.

**§ 10. Hebel.** Um Steine von bedeutendem Gewichte zu heben, wendet man sogen. Hebebäume oder Brechstangen an, d. h. starke Stäbe von Holz oder Eisen (Fig. 25 und 26). Man verfährt dabei in folgender Weise: Entweder

Fig. 25.

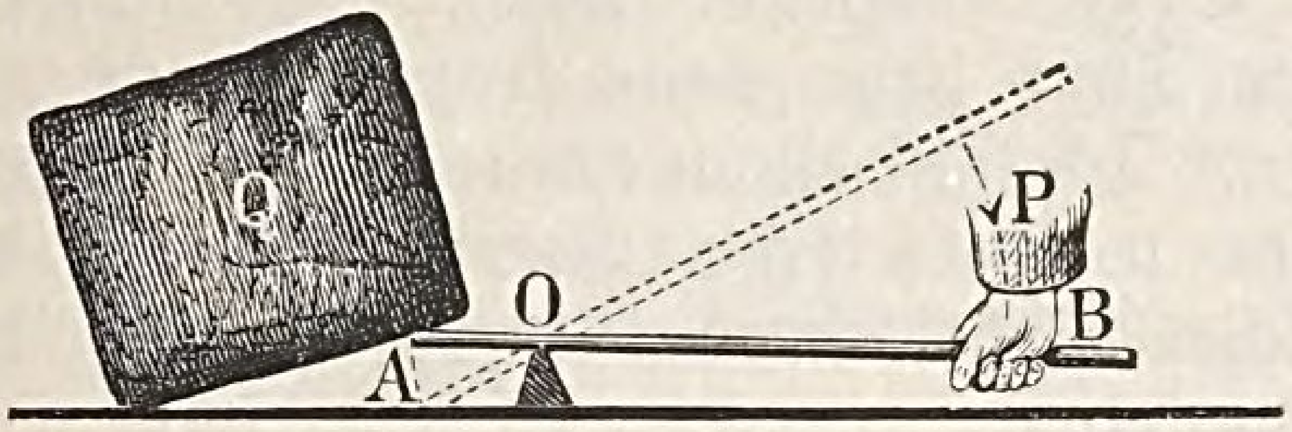
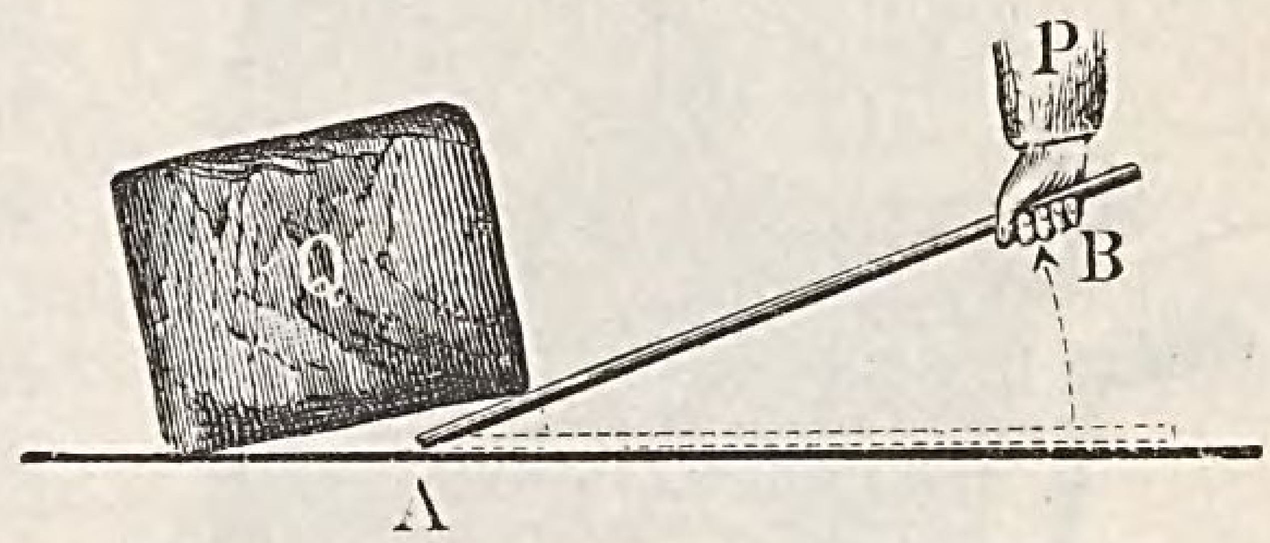



Fig. 26.




*unterstützt* man einen nahe an dem einen Ende des Stabes gelegenen Punkt (O, Fig. 25) und drückt den Stab an seinem anderen Ende nieder, oder man *stemmt das eine Ende des Stabes* (A, Fig. 26) *gegen den Boden* und hebt das andere (B) in die Höhe.

*Ein unbiegsamer Stab, der um einen Unterstützungspunkt gedreht werden kann, wird* **Hebel** *genannt.* (Hebebäume und Brechstangen sind demnach Hebel.) Der gehobene Körper wird als Last bezeichnet. — Die beiden Teile des Hebels, die zwischen dem Drehpunkte und den Angriffspunkten der Kraft und der Last liegen, heißen *Hebelarme*: **Kraftarm** und **Lastarm.**

Liegt der Drehpunkt eines Hebels zwischen seinen beiden Angriffspunkten (Fig. 25), so heißt der Hebel *zweiarmig*; liegt er am Ende des Stabes (Fig. 26), so ist der Hebel *einarmig*. Sind die Arme eines Hebels gleichlang, wie z. B. bei einer Krämerwage, so nennt man ihn *gleicharmig*; sind sie ungleich, so wird der Hebel *ungleicharmig* genannt. (Auch beim einarmigen Hebel unterscheidet man Kraftarm und Lastarm.)

### Mechanischer Vorteil und Nachteil.

Beim gleicharmigen Hebel findet nur eine *Änderung der Kraftrichtung*, nicht aber eine Kraftersparnis statt (Krämerwage, § 4). Man kann deswegen den gleicharmigen Hebel auch als **Richtungshebel** bezeichnen. — Ist der Kraftarm *länger* als der Lastarm, so lassen sich große Widerstände mit geringer Kraft überwinden; die Kraft muß dabei freilich einen größeren Weg zurücklegen, als die Last zurücklegt. Den Kraftgewinn bezeichnet man als *mechanischen Vorteil*, den Zeitverlust als *mechanischen Nachteil*.

*Ein Hebel, dessen Kraftarm länger ist als sein Lastarm, kann seiner Wirkung wegen als* **Druckhebel** *bezeichnet werden.*

Fig. 27.

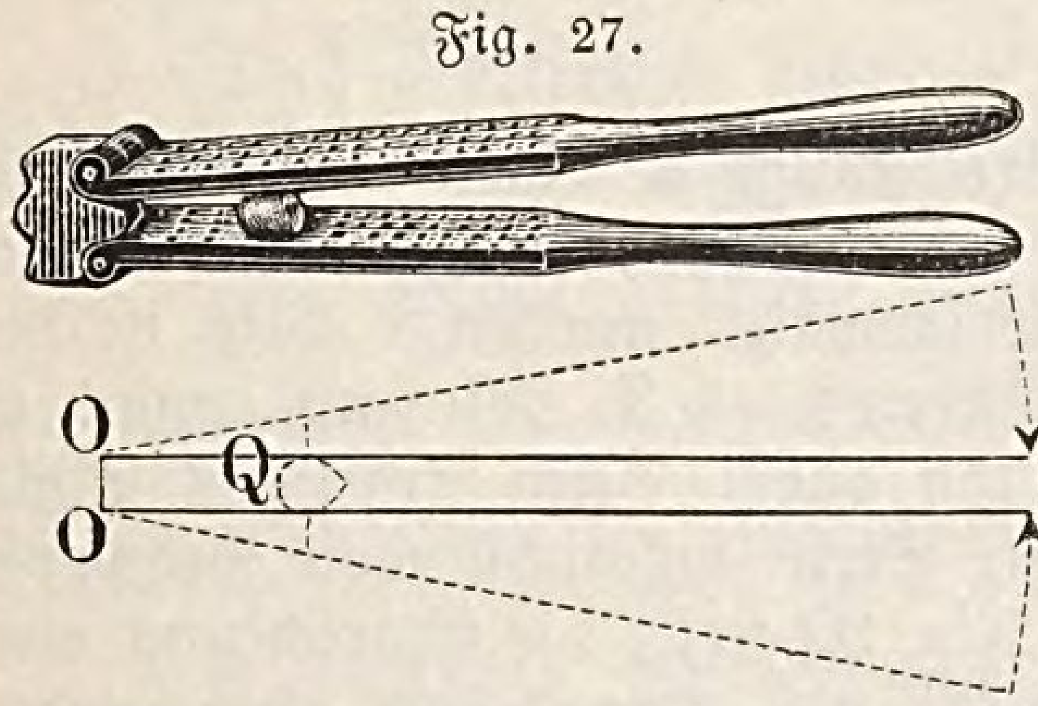
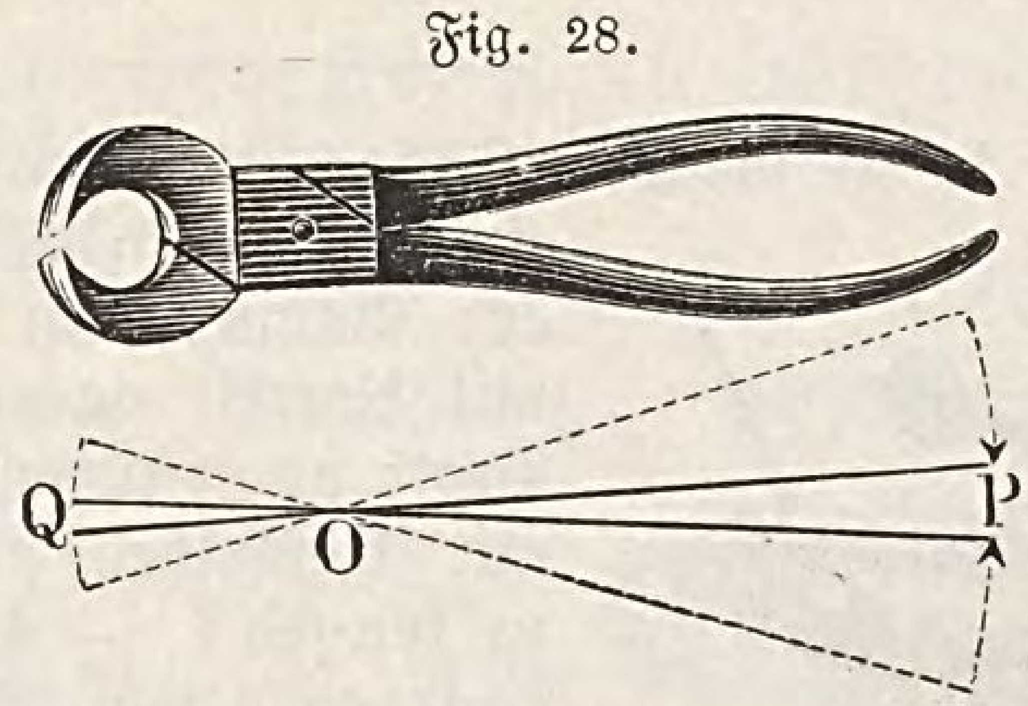



Fig. 28.

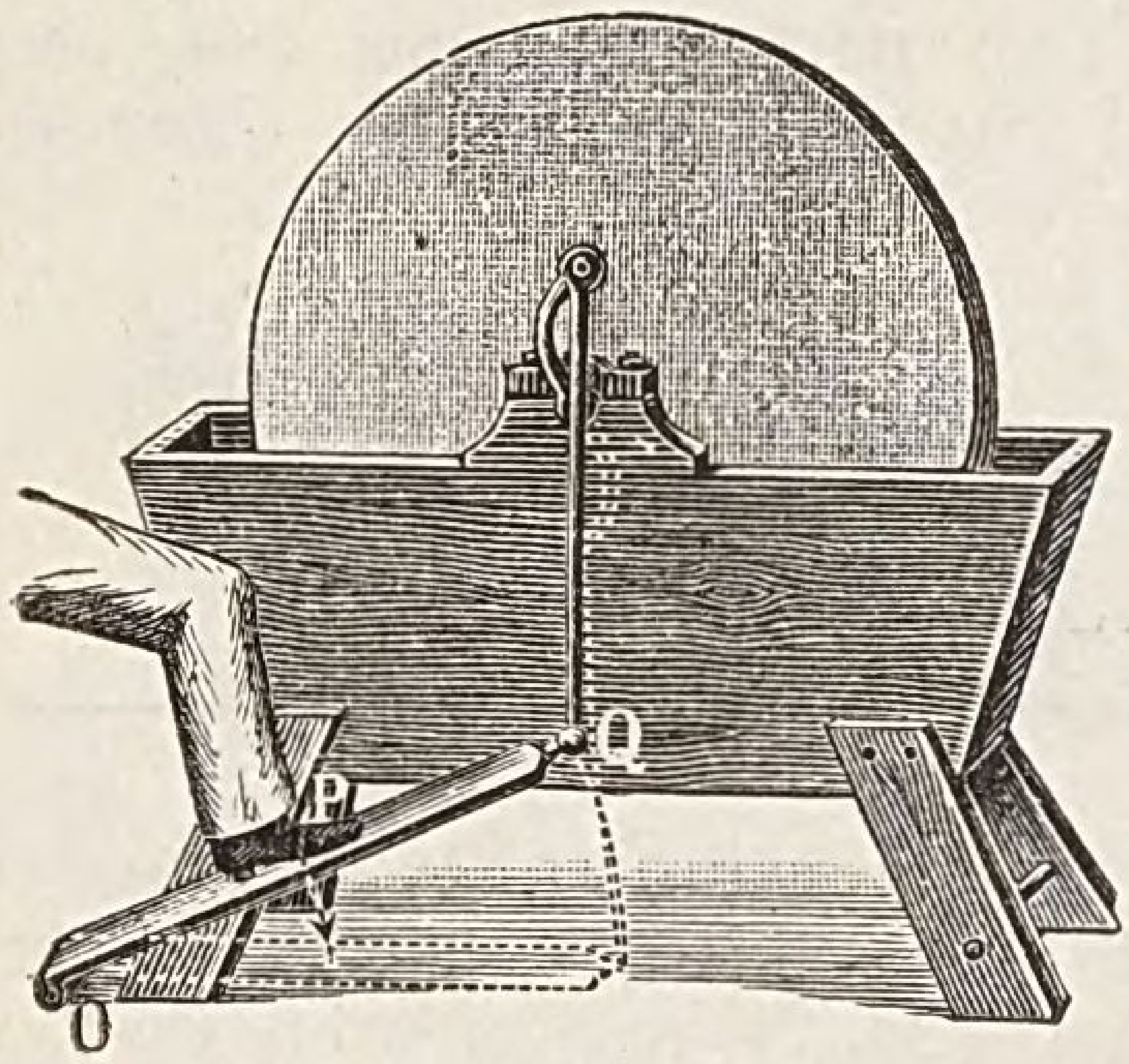



Als *Druckhebel* wirken außer den Hebebäumen (Fig. 25 und 26) auch noch Brecheisen, Pumpenschwengel, Ruder, Schubkarren, die Messer der Brodschneideladen und Zuckerbrecher, Schlüssel u. s. w. Manche Werkzeuge, wie Nußknacker (Fig. 27), Kneifzangen (Fig. 28), bestehen aus *zwei* beweglich miteinander verbundenen Druckhebeln, die gegeneinander wirken. Die beiden Druckhebel z. B., aus

denen die Wippe einer Feuerspritze besteht, sind fest miteinander verbunden und kommen abwechselnd zur Wirkung. Was ist durch die unter den beiden Figuren 27 und 28 stehenden einfachen Zeichnungen dargestellt?

Die Anwendung eines Hebels mit kurzem Kraftarme (Fig. 29) ist nicht mit einer Kraftersparnis verbunden, sondern erfordert mehr Kraft, als Last zu überwinden ist. Hiervon überzeugt man sich leicht, wenn man z. B. eine Thür durch einen Druck mit dem Finger in ihren Angeln bewegt. Je näher der Punkt, in dem der Druck ausgeübt wird, dem hinteren Rande der Thür liegt, desto kräftiger muß der Druck sein. Dies ist ein mechanischer Nachteil. Der mechanische Vorteil besteht bei einem solchen Hebel in der Vergrößerung der Geschwindigkeit.

Fig. 29.



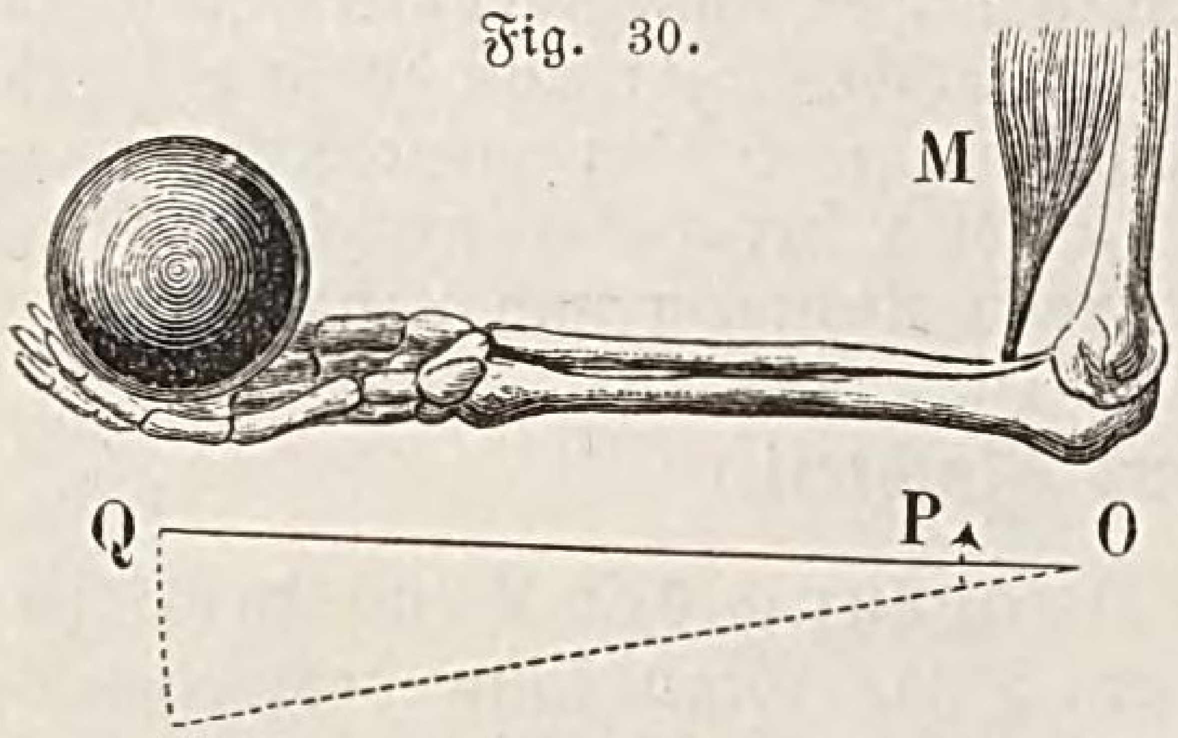

Hebel, bei denen der Kraftarm kürzer ist als der Lastarm, können ihrer Wirkung wegen als **Wurfhebel** bezeichnet werden.

Bem. Nur beim einarmigen Hebel pflegt man Druck- und Wurfhebel zu unterscheiden.

Wie die Trittbretter, so bilden auch Wurfschaufeln, Sensen, Schäferstäbe u. s. w. Wurfhebel; auch Federhalter, Bleistifte und Pinsel stellen beim Gebrauche Wurfhebel dar. Zweiarmige Wurfhebel sind z. B. die Hämmer an den Schlagwerken der Stuben- und Turmuhren.

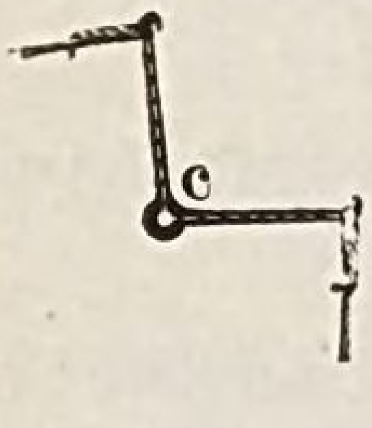
Die meisten beweglichen Teile des menschlichen und tierischen Skelettes sind ebenfalls Wurfhebel. Wird z. B. bei herabhängendem Arme ein in der Hand gehaltener Gegenstand durch Bewegung des Unterarmes gehoben (Fig. 30), so bildet letzterer einen Hebel, bei dem der Drehpunkt im Ellenbogengelenke, der Angriffspunkt der Kraft etwas unterhalb dieses Gelenkes und zwar da, wo der auf dem Oberarme liegende kräftige Muskel (M) am Unterarme befestigt ist, und der Angriffspunkt der Last in der Hand liegt. Zum Heben des Gegenstandes ist eine geringe Verkürzung des Muskels ausreichend.

Fig. 30.




Eine besonders wichtige Anwendung findet der gleicharmige wie der ungleicharmige Hebel bei den **Wagen** zur Bestimmung des Gewichtes der Körper.

Fig. 31.




Je nachdem die Hebelarme gerade oder krumm sind oder einen Winkel miteinander bilden, kann man gerade, krumme und Winkelhebel unterscheiden (Winkeleisen der Glockenzüge [Fig. 31], Thürklinken, Pumpenschwengel u. s. w.).

---

**Übungsstoff.** **1.** In welchem Falle bildet eine Brechstange a. einen zwei-, b. einen einarmigen Hebel? — **2.** Mit einem Hebebaume soll ein Baumstamm fortgewälzt werden. Wie ist dies mit Vorteil auszuführen? — **3.** Wie muß man ein Brett unterstützen, um durch einen kräftigen Schlag mit demselben einen Stein möglichst weit wegwerfen zu können? — **4.** Fig. 32 stellt die Einrichtung einer von den alten Römern als Kriegsgerät angewandten Wurfmaschine dar. Erkl.! — **5.** Wie würde sich bei den beiden Hebeln, Fig. 25 und 26, der mech. V. ändern, wenn man den Stein in einem

Fig. 32.



Punkte unterstützte, welcher a. dem Drehpunkte des Hebels näher, b. vom Drehpunkte weiter entfernt liegt? — 6. Wie ändert sich die Wirkung, wenn man bei einem Nußknacker (Fig. 27) die Nuß, oder bei einer Schere den zu zerschneidenden Gegenstand dem Drehpunkte nähert? — 7. Wird ein einarmiger Hebel am Ende mit einem Rade versehen, so kann er zur Fortschaffung von Lasten benutzt werden. Welches Werkzeug? — 8. Warum ist es hierbei nicht gleichgültig, an welcher Stelle die Last liegt? — 9. Welchen mech. V. und N. würde es haben, wenn bei dem Trittbrette (Fig. 29) der Fuß a. weiter nach unten, b. weiter nach oben aufgesetzt würde? — 10. Wie ändert sich bei jedem Hebel die Wirkung der Kr., wenn ihr Angriffspunkt a. dem Drehpunkte genähert, b. vom Drehpunkte weiter entfernt wird? — 11. Welche Teile der Pumpen, Feuerspritzen, Spinnräder, Nähmaschinen, Drehbänke, Schneideladen, Zuckerbrecher und Schlagwerke der Uhren bilden Hebel, und inwiefern? — 12. Welche von denselben sind ein- und welche zweiarmig, und worin besteht der mech. V. und der mech. N.? — 13. Was für Hebel (Druck- oder Wurfhebel) bilden beim Gebrauche Schlüssel, Spaten, Messer, Sensen, Schaufeln und Heugabeln? — 14. Welchen Vorteil hat es für den menschlichen und tierischen K., daß die Gliedmaßen Hebel mit sehr kurzen Kraftarmen bilden? — 15. Nenne Musikinstrumente, bei denen Hebel zur Anwendung kommen.

---

**§ 11. Hebelgesetze. (Fortsetzung.)** Das Verhältnis zwischen Kraft und Last läßt sich nach Anleitung von Fig. 33 und 34 für alle Hebel (bei rechtwinkliger Einwirkung der Kraft) ermitteln. Es ergiebt sich, daß die Kraft, um

Fig. 33.

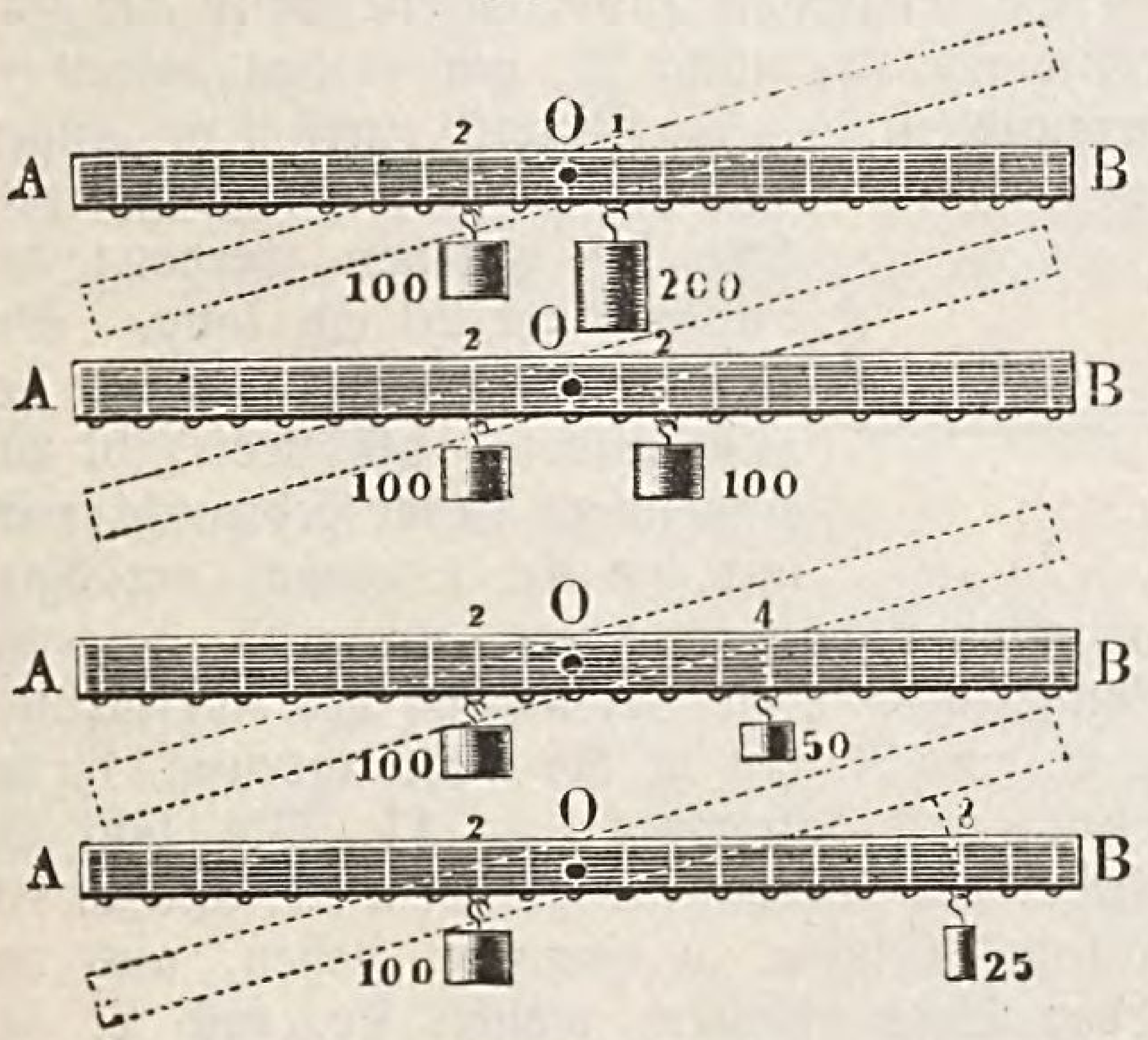
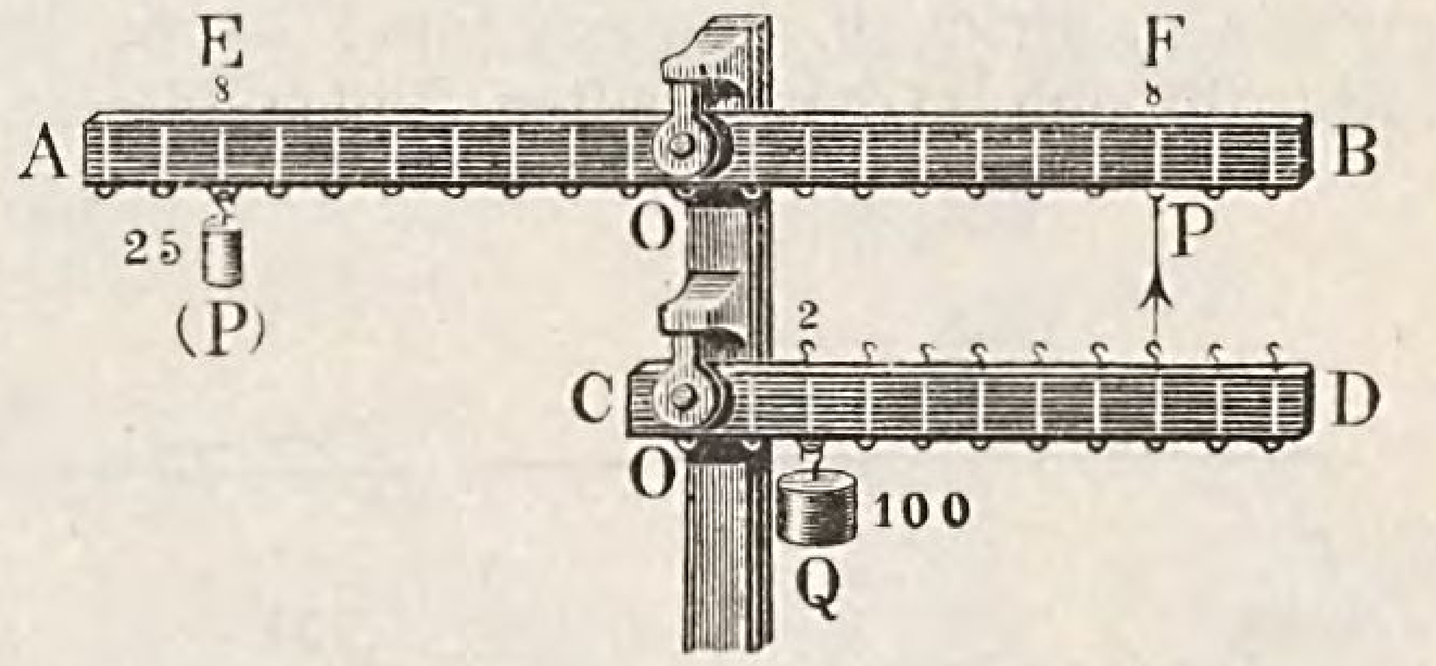



Fig. 34.




eine bestimmte Last im Gleichgewichte zu halten, 1. doppelt so groß sein muß als die Last, wenn der Kraftarm halb so groß ist als der Lastarm, 2. der Last gleich sein muß, wenn beide Hebelarme gleichlang sind, 3. nur halb oder $\frac{1}{4}$ so groß zu sein braucht, wenn der Kraftarm doppelt oder 4 mal so lang ist als der Lastarm. Vergleicht man die Strecken, um welche die Last bei einer Drehung des Hebels senkrecht gehoben wird, mit den Wegen, welche die Kraft jedesmal (beim zweiarmigen Hebel in entgegengesetzter, beim einarmigen Hebel in gleicher Richtung) zurücklegt, so ergiebt sich das umgekehrte Verhältnis.

Der gleicharmige Hebel ist im Gleichgewicht, wenn die Kraft der Last gleich ist.

Das Bestreben einer Kraft, den Hebel zu drehen, nimmt in demselben Verhältnis zu, in dem ihr Hebelarm länger wird.

Am **Hebel** herrscht Gleichgewicht, wenn sich die Kraft zur Last verhält, wie der Lastarm zum Kraftarm. — Die Wege, welche Kraft und Last zurücklegen, verhalten sich umgekehrt zu einander wie Kraft und Last.

Beispiel. Anwendung auf Fig. 25: Ist der Lastarm AO des Hebels AB $\frac{1}{5}$ so lang als der Kraftarm, so braucht die Kraft nur $\frac{1}{5}$ der Last zu betragen. — Wäre der Stein um 10 cm gehoben, so hätte die Hand den Hebel um $5 \times 10 = 50$ cm niederdrücken müssen.

Ob an einem Hebel *Gleichgewicht* entsteht, läßt sich auch in der Weise beurteilen, daß man überlegt, wie groß Kraft und Last sein müßten, wenn sie an einem gleicharmigen Hebel wirkten, dessen Arme nur je *eine* Längeneinheit (etwa 1 cm) lang sind. Denkt man sich z. B. an den beiden letzteren der in Fig. 33 dargestellten Hebel nacheinander alle Gewichte durch ein Gewicht ersetzt, das 1 cm vom Drehpunkte aufgehängt sei, so würden links 2 × 100 g, rechts 4 × 50 und 8 × 25 g dieselbe Wirkung ausüben. Die auf diese Weise erhaltenen Produkte kann man als **Drehungsmomente** bezeichnen und hiernach die Gleichgewichtsbedingung des Hebels auch durch den Satz ausdrücken:

Ein Hebel ist im *Gleichgewichte*, wenn das Drehungsmoment der Kraft dem Drehungsmomente der Last gleich ist. (Kraft × Kraftarm = Last × Lastarm.)

---

**Übungsstoff.** **1.** Wie muß eine Wippe, die aus einem überall gleichdicken Balken besteht, unterstützt werden, wenn der auf beide Enden ausgeübte Druck a. gleich, b. ungleich ist und Glgew. entstehen soll? — **2.** Wie verhalten sich die Wege zu einander, die bei einer Drehung der Wippe a. von deren beiden Endpunkten, b. von der Kr. und der L. in senkrechter Richtung zurückgelegt werden? — **3.** Ein Stab läßt sich vor dem Knie am leichtesten durchbrechen, wenn man ihn an seinen Enden anfaßt. Erkl.! — **4.** Wie ferner am leichtesten mit dem Fuße? — **5.** Zwei mit Ringen versehene Gewichtstücke sollen an einem Stabe gleichhoch gehoben werden. Wie ist dies am leichtesten auszuführen, wenn die Gewichte a. gleich, b. ungleich sind? — **6.** Berechne wv. Kr. nötig ist, um in den beiden in Fig. 35 und 36 dargestellten Fällen Glgew. herzustellen. — **7.** Mittelst eines 2 m langen Hebebaumes soll ein Stein von 180 kg gehoben werden; der Lastarm sei 20 cm lang. Wv. Kr. ist erforderlich, wenn der Hebebaum a. als zwei-, b. als einarmiger Hebel gebraucht wird und die Kr. jedesmal am Ende des Stabes wirkt? — **8.** Vgl. die Richtungen miteinander, in denen Kr. und L. dabei wirken. — **9.** Welchen mech. V. hat a. die Verlängerung, b. die Verkürzung des Kraftarmes, und welchen mech. N.? — **10.** Welchen mech. V. und N. hat a. die Verlängerung, b. die Verkürzung des Lastarmes? — **11.** Wie läßt sich beim Hebel das Verhältnis, in dem Kr. und L. für den Fall des Glgew. zu einander stehen, aus der Länge der Wege ableiten, welche Kr. und L. bei einer Drehung des Hebels zurücklegen? — **12.** Fig. 37 stelle das Sicherheitsventil eines Dampfkessels dar. a. Inwiefern bildet es einen Hebel? b. Was für ein Hebel ist dies? c. Wie ändert sich die Wirkung, wenn das Gewichtstück dem Ventile genähert wird.

Fig. 35.

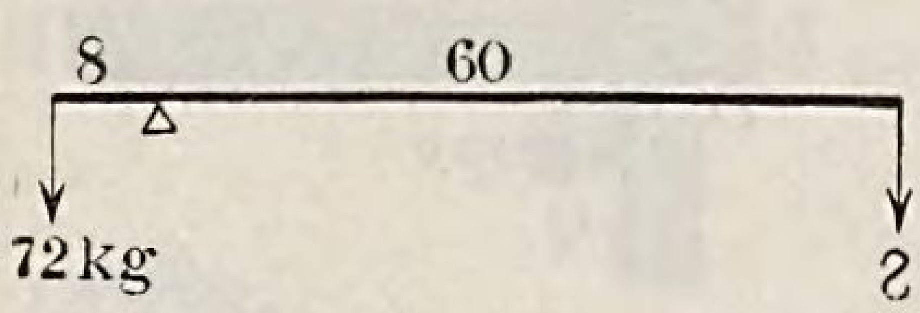



Fig. 36.

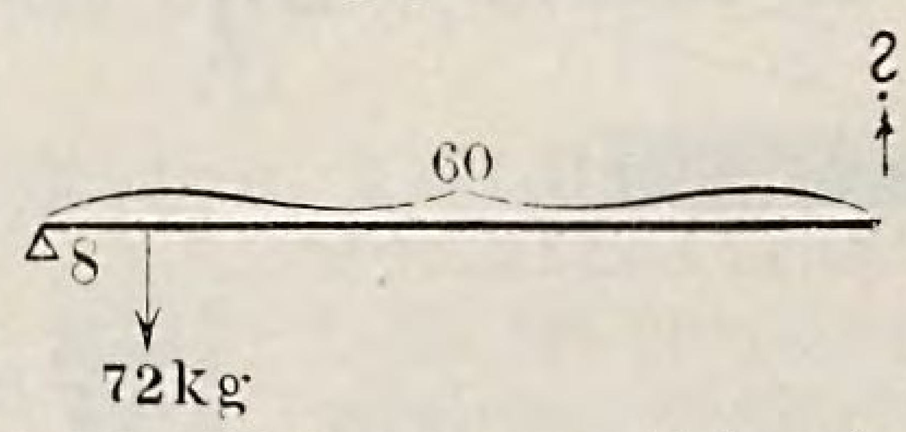
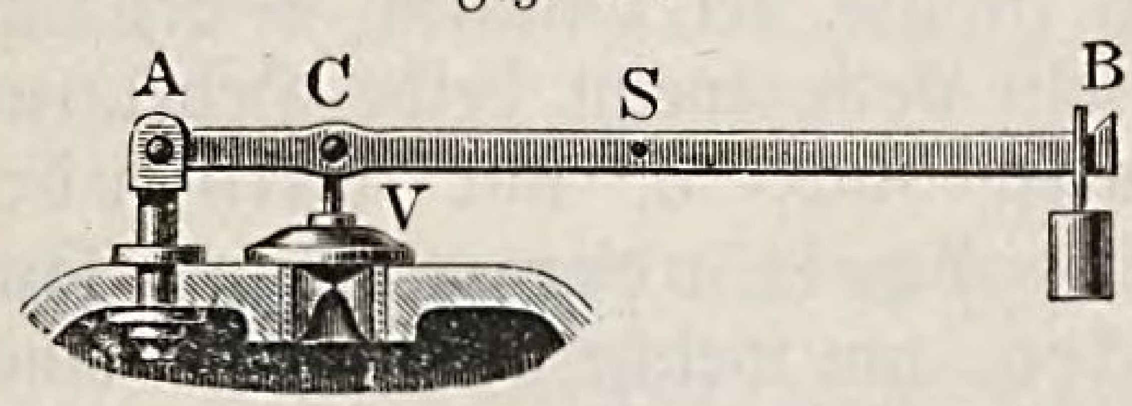


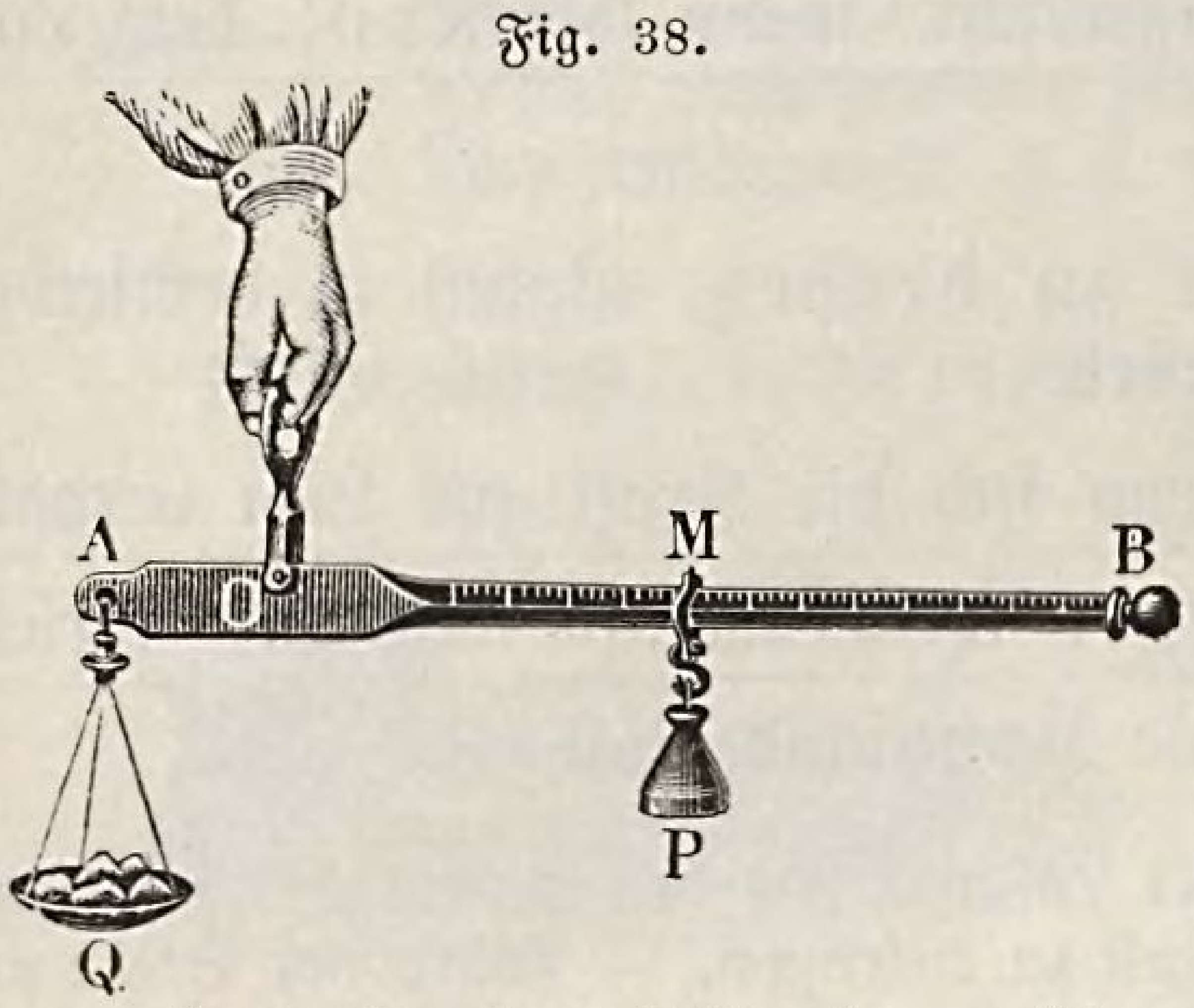

Fig. 37.




---

## § 12*. Ungleicharmige Wagen.

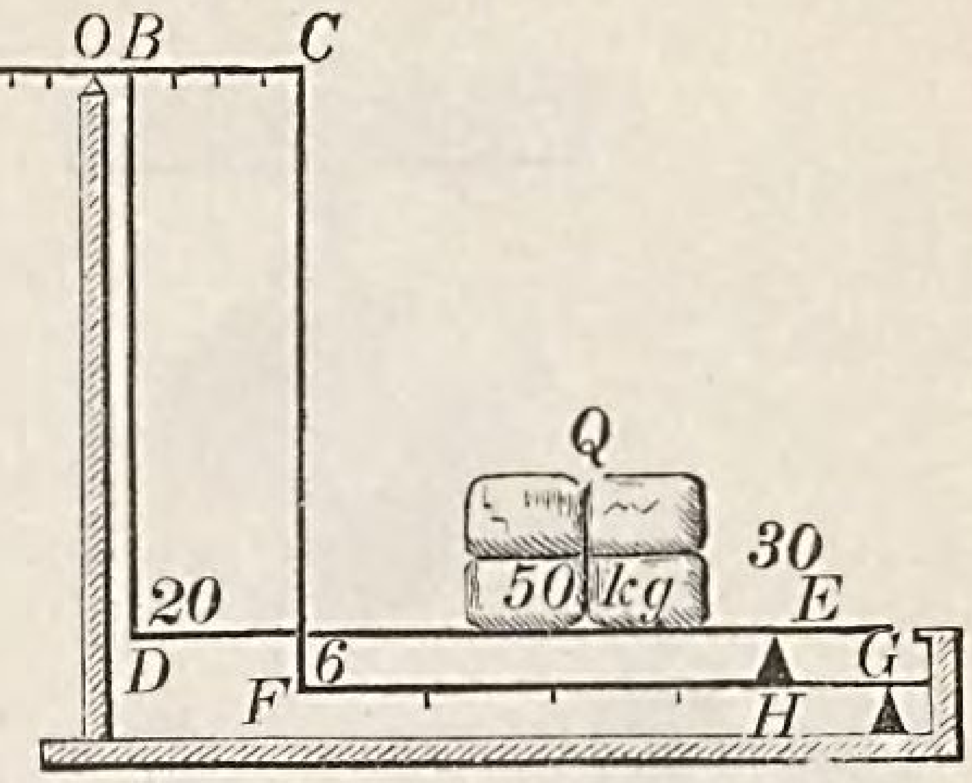
Fig. 38.




**a. Die Schnellwage** (Fig. 38). Sie besteht aus einem *ungleicharmigen* eisernen *Wagebalken* (AB), an dessen kurzem Arme (AO) die Last (Q) aufgehängt wird, und dessen langer Arm (OB) zum Aufhängen eines sog. *Laufgewichtes* (P) einen verschiebbaren Ring (M) trägt und mit einer Teilung versehen ist, deren Zahlen das Gewicht der Last unmittelbar angeben. Zur Herstellung des Gleichgewichtes schiebt man das Laufgewicht, je nachdem die Last größer oder kleiner ist, weiter nach

dem Ende oder nach dem Drehpunkte des Balkens; man verlängert oder verkürzt also je nach Erfordernis den Kraftarm des Hebels.

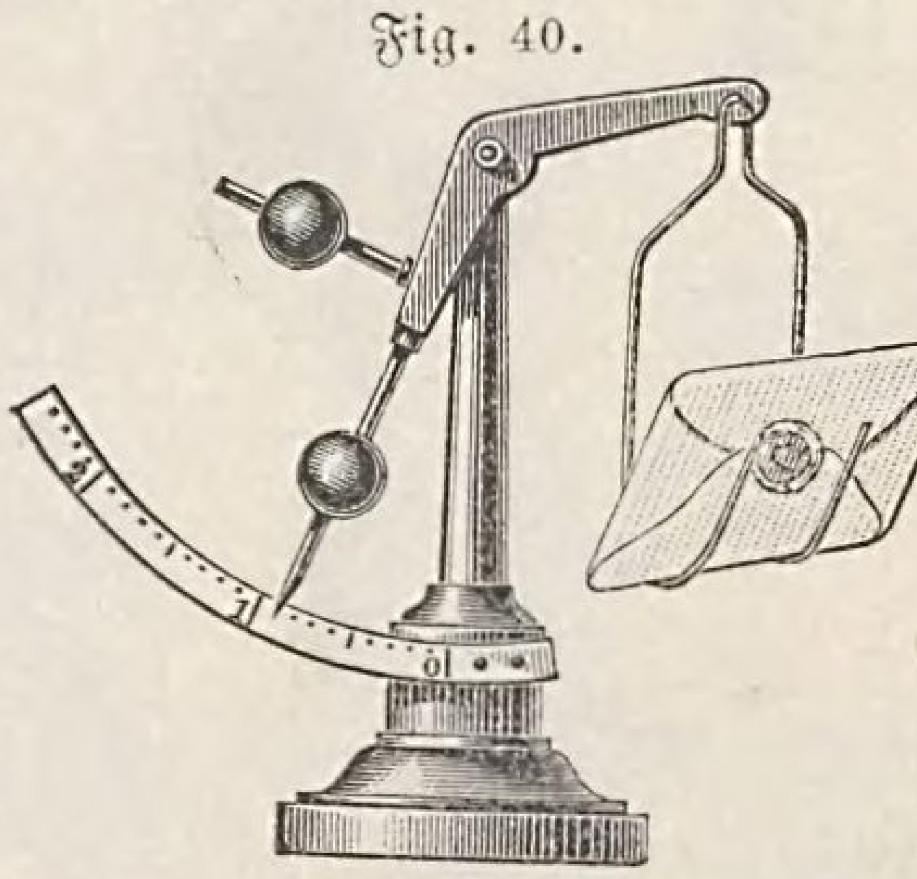
Fig. 39.




**b. Die Decimalwage** (Brückenwage, Fig. 39.) Die Angriffspunkte der Kraft und Last haben bei ihr wie bei der Krämerwage eine unveränderliche Lage. Sie unterscheidet sich aber von dieser wesentlich dadurch, daß zur Herstellung des Gleichgewichtes nur der zehnte Teil des Gewichtes der Last erforderlich ist, sowie dadurch, daß die Last von einer sog. Brücke (DE) aus auf den Wagebalken einwirkt. Wegen dieser beiden Einrichtungen heißt die Wage Decimalwage (decem = zehn) oder Brückenwage.

Die Brücke ruht (in E) auf einem einarmigen Hebel (FG); Brücke und Hebel stehen durch Zugstangen mit dem Wagebalken in Verbindung. Der Punkt (B), in dem die Zugstange der Brücke am Wagebalken aufgehängt ist, liegt dem Drehpunkte (O) des Balkens am nächsten, und zwar ist OB = $\frac{1}{10}$ des Kraftarmes OA. In C greift die Zugstange des Hebels FG an und es verhält sich OC : OB ebenso wie FG : HG (nach der Figur wie 1 : 5). Die Last soll z. B. 50 kg betragen und sich so verteilen, daß 20 kg auf die Zugstange BD und 30 kg durch die Schneide E auf den Hebel FG einwirken. Diese 30 kg wirken dann in E ebenso wie 6 kg in F oder C und diese wieder könnten durch 30 kg in B ersetzt werden. Mithin ist die Wirkung der auf die Brücke gestellten 50 kg dieselbe als ob sie in B abwärts zögen und demnach können sie durch 5 kg in der Wagschale im Gleichgewichte gehalten werden.

Fig. 40.



**c. Die Zeigerwage** (Fig. 40) besteht aus einem Winkelhebel, an dessen einem Arme leichte Gegenstände, z. B. Briefe, aufgehängt werden können, und dessen anderer Arm einen abwärts gerichteten Zeiger bildet, der mit seiner Spitze auf einem Gradbogen das Gewicht der Last anzeigt. Zur genauen Einstellung des Zeigers vor der Belastung der Wage dienen die beiden verschiebbaren Metallkugeln.

---

**Übungsstoff.** **1.** Welche von den bis jetzt angeführten Wagen sind Balkenwagen, und welche nicht? — **2.** Bei welchen Balkenwagen haben die Abstände der beiden Angriffspunkte vom Drehpunkte eine unveränderliche Länge? — **3.** Bei welchen Wagen ist zum Wägen a. gar kein Gewichtstück, b. immer dasselbe Gewichtstück erforderlich, und bei welchen hat man verschiedene Gewichte anzuwenden? — **4.** Wv. Hebel sind bei einer Decimalwage miteinander verbunden? — **5.** Die auf der Decimalwage (Fig. 39) ruhende Last Q betrage 60 kg; von den beiden Punkten D und E, in denen die Brücke unterstützt wird, erleide D einen Druck von 25, E einen Druck von 35 kg. Welcher Zug wird dann mittelst der Zugstange DB auf den Punkt B des Wagebalkens ausgeübt? — **6.** Auf welchen Hebel wirkt der übrige Teil der Last zunächst ein? — **7.** HG sei $\frac{1}{5}$ von FG; wie groß wird dann der Zug sein, den der Hebel FG durch die Zugstange FC auf den Balken AC im Punkte C ausübt? — **8.** Wv. Gew. müßte man in B aufhängen, um den Balken ebenso stark zur Drehung anzuregen? — **9.** Wie groß war der von D aus auf B ausgeübte Zug, und wie groß würde demnach der ganze in diesem Punkt wirkende Zug sein? — **10.** Wie ist Glgew. herzustellen? — **11.** Gewöhnlich befindet sich auf dem Kraftarme (AO) der Decimalwage ein verschiebbares Messingstück. Welchen Zweck hat diese Einrichtung? — **12.** Die Brücke einer Decimalwage bewegt sich stets parallel zu sich selbst auf und ab. Erklärung! —

---

**§ 13. Rollen.** Um Warenballen auf hoch gelegene Lagerplätze zu heben oder von diesen herabzulassen, Mauersteine, Mörtel und Balken am Bau-

gerüste hinaufzuziehen u. s. w., wendet man gewöhnlich kreisförmige, um eine Achse drehbare Scheiben an. Solche Scheiben, deren Umfang zur Aufnahme eines Seiles rinnenförmig vertieft ist

Fig. 41.

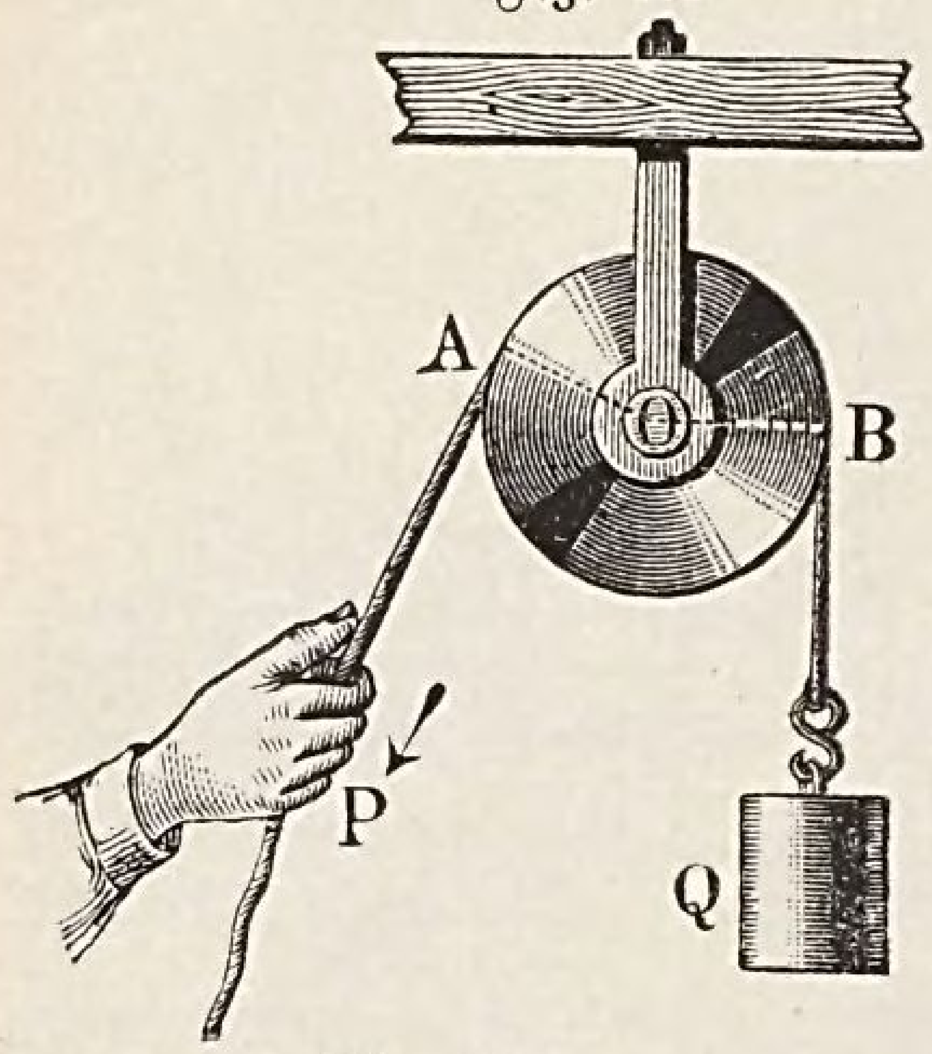



Fig. 42.

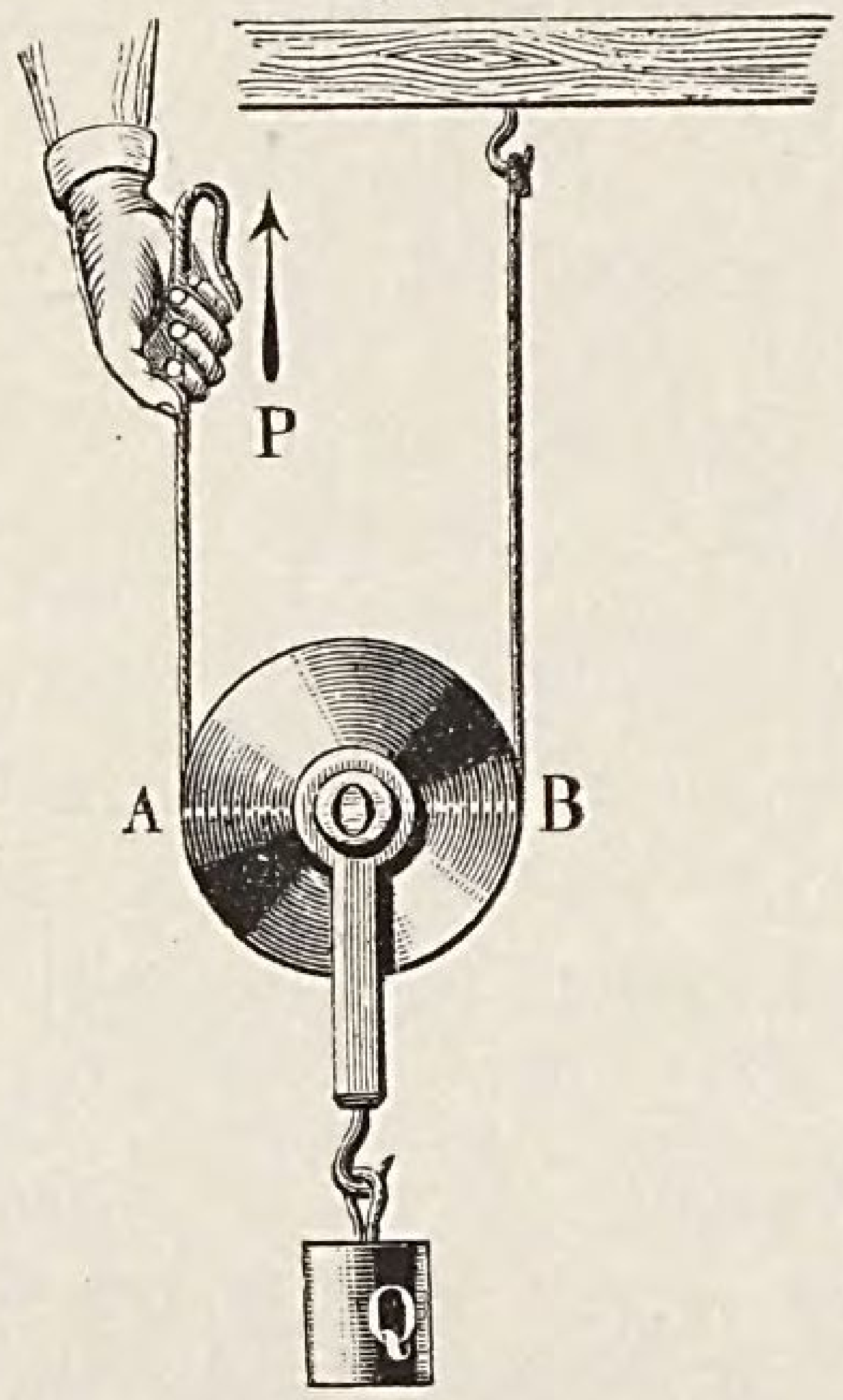



Fig. 43.

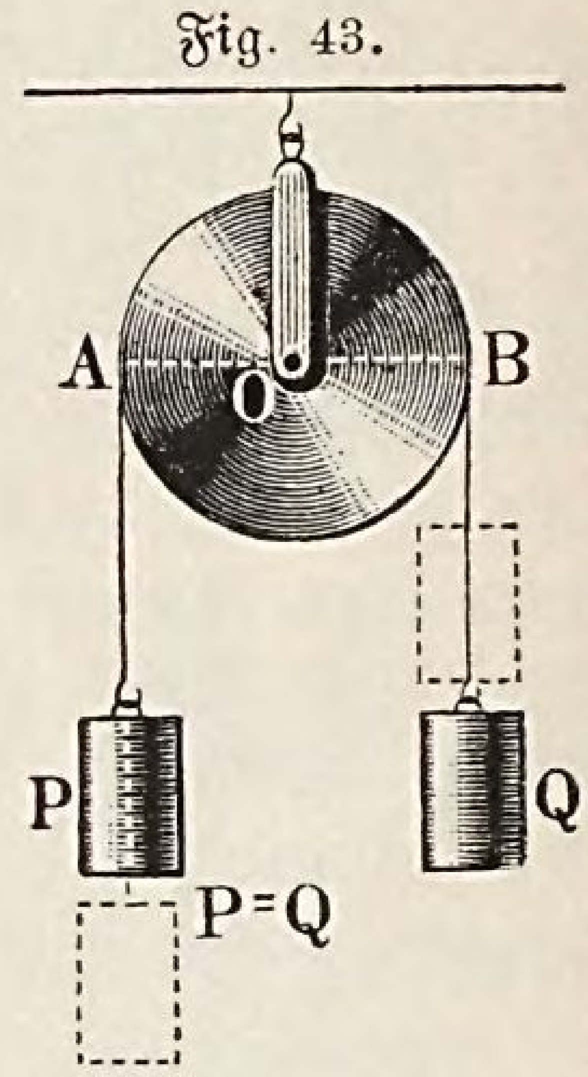
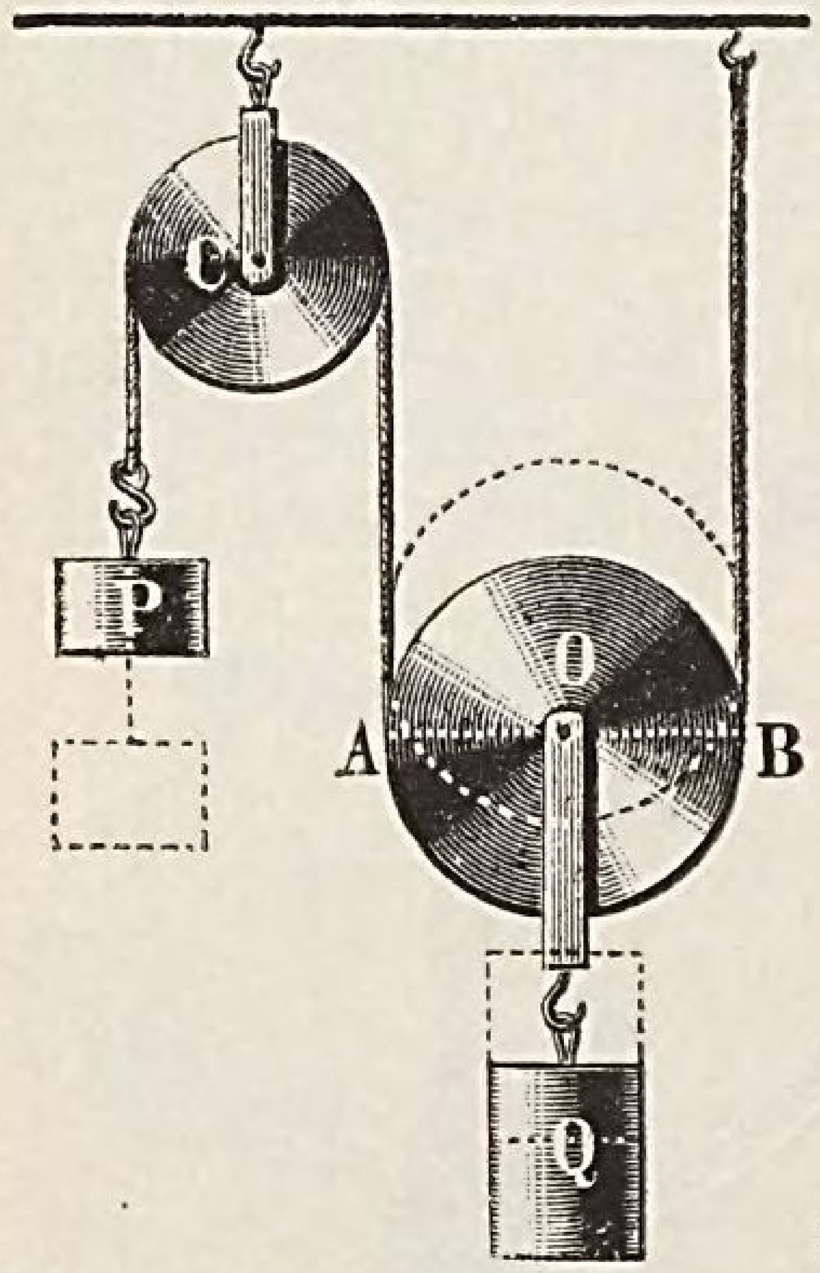



Fig. 44.




(Fig. 41—44), heißen **Rollen.** Die Achsen derselben liegen in sogen. Scheren.

Eine Rolle, die bei der Drehung an demselben Orte bleibt, heißt **feste Rolle** (Fig. 41); eine solche, die sich vom Orte fortbewegt, heißt **lose Rolle** (Fig. 42).

Bei den festen Rollen wirkt die Last an dem einen, die Kraft am anderen Ende des Seiles. Bei den losen Rollen dagegen wirkt die Last an der Schere; das eine Ende des Seiles ist befestigt und das freie Ende dient als Angriffspunkt der Kraft.

Stellt man sich vor, die Durchmesser AB (Fig. 43 und 44) seien Hebel, so ist ersichtlicht, daß die feste Rolle (Fig. 43) wie ein gleicharmiger Hebel wirkt, dessen Drehpunkt mit der Achse O zusammenfällt, die lose Rolle aber wie ein einarmiger Hebel, bei dem der Angriffspunkt der Last in der Mitte und der Unterstützungspunkt da liegt, wo das befestigte Seilende die Rolle zuerst berührt (in B).

Bestätigung durch den Versuch.

An einer **festen Rolle** herrscht Gleichgewicht, wenn die Kraft der Last gleich ist. — An einer **losen Rolle** herrscht Gleichgewicht, wenn die Kraft halb so groß ist als die Last.

Beispiel. Beträgt die Last (Q) 20 kg, so muß die Hand am Seile der festen Rolle Fig. 41) einen Zug von 20, am Seile der losen Rolle (Fig. 42) einen Zug von **10 kg** ausüben.

Bei der festen Rolle sind die Wege von Kraft und Last einander gleich; bei der losen Rolle muß die Kraft einen doppelt so großen Weg zurücklegen, als die Last.

Beispiel. Um die Last 1 m hoch zu heben, muß die Kraft an der festen Rolle (Fig. 41) ebenfalls einen Weg von 1 m, an der losen Rolle (Fig. 42) aber einen Weg von 2 m zurücklegen (vgl. Fig. 43 und 44).

Feste Rollen sind ein bequemes Mittel, die Zugrichtung in vorteilhafter Weise zu ändern. Es würde z. B. mit vielen Schwierigkeiten verbunden sein, Steine

und Balken von oben am Baugerüste hinaufzuziehen; mittelst fester Rollen kann es von unten geschehen. Aus demselben Grunde werden feste Rollen auch beim Einrammen von Pfählen (mittelst Rammbär), zum Schließen von Thüren durch Zuggewichte, zum Heben von Kronleuchtern und Hängelampen angewandt. — *Um an Kraft zu sparen, muß man lose Rollen anwenden.*

---

**Übungsstoff.** **1.** Worin stimmt eine feste mit einer losen Rolle überein, und wodurch unterscheiden sie sich? — **2.** Welchen mech. V. gewährt die Anwendung einer losen Rolle, und worin besteht der mech. N.? — **3.** Kann die Größe der Rolle einen Einfluß auf das Verhältnis von Kr. und L. ausüben? — **4.** Welchen Vorteil bietet es, bei Turmuhren und Regulatoren die Gewichtstücke an losen Rollen aufzuhängen, statt sie an den Enden der Schnüre zu befestigen? (Q, Fig. 44, stelle das Gewichtstück, C die Welle dar, um die sich beim Aufziehen der Uhr die Schnur wickelt.) — **5.** Wie müssen sich in diesen Fällen die Gewichte zu einander verhalten, wenn der auf das Räderwerk ausgeübte Zug derselbe sein soll? — **6.** In einem Speicher sollen mit Korn gefüllte Säcke von unten auf den Lagerraum geschafft werden. Wie muß man verfahren, a. wenn nur eine feste, b. wenn eine feste und eine lose Rolle dabei angewandt werden soll? — **7.** In einem anderen Falle soll durch den Zug, den ein Pferd in wagerechter Richtung ausübt, ein großer Mauerstein senkrecht gehoben werden. Wie ist dies mit Hülfe der festen Rolle auszuführen? — **8.** Wie lassen sich die Gesetze über die feste und die lose Rolle aus dem Hebelgesetze ableiten? — **9.** Wv. L. kann durch 20, 30, 40 kg Kr. a. an einer festen, b. an einer losen Rolle im Glgew. gehalten werden? — **10.** Wv. Kr. ist aber erforderlich, um 80, 90, 100 kg L. im Glgew. zu halten? — **11.** Welchen Weg muß die Kr. zurücklegen, wenn die L. jedesmal um 4 m gehoben werden soll? — **12.** Wie läßt sich nach den Wegen der Kr. und L. beurteilen, unter welcher Bedingung Glgew. entsteht?

---

## § 14*. Gemeiner Flaschenzug.

Der mechanische Vorteil, den die Anwendung von Rollen gewährt, läßt sich dadurch vergrößern, daß man Rollen zu sogen. Flaschenzügen miteinander verbindet. Bei dem **gemeinen Flaschenzuge** (Fig. 45 und 46) sind *je zwei oder drei Rollen* unter- oder nebeneinander in *zwei Scheren* (Kloben) so befestigt, daß jede Rolle sich unabhängig von der anderen drehen kann. Die eine der beiden Scheren wird an einem festen Punkte aufgehängt, während die andere von den Seilschleifen getragen wird, welche die unteren Rollen mit den oberen verbinden. Ein unter der oberen Schere befindlicher Haken dient zur Befestigung des Seiles, dessen freies Ende zum Angriff für die Kraft lose herabhängt.

Fig. 45.

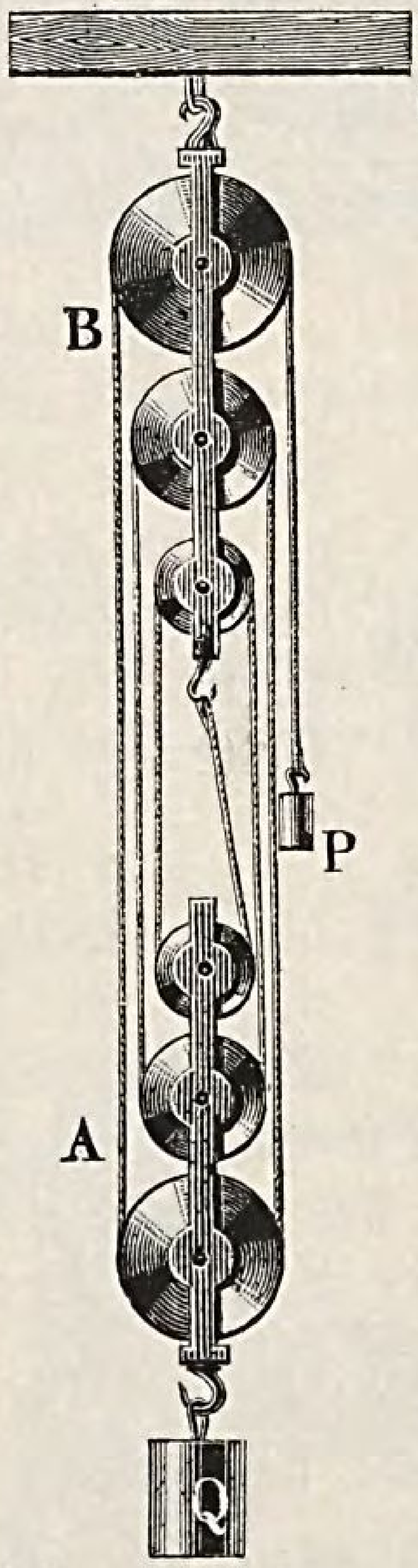
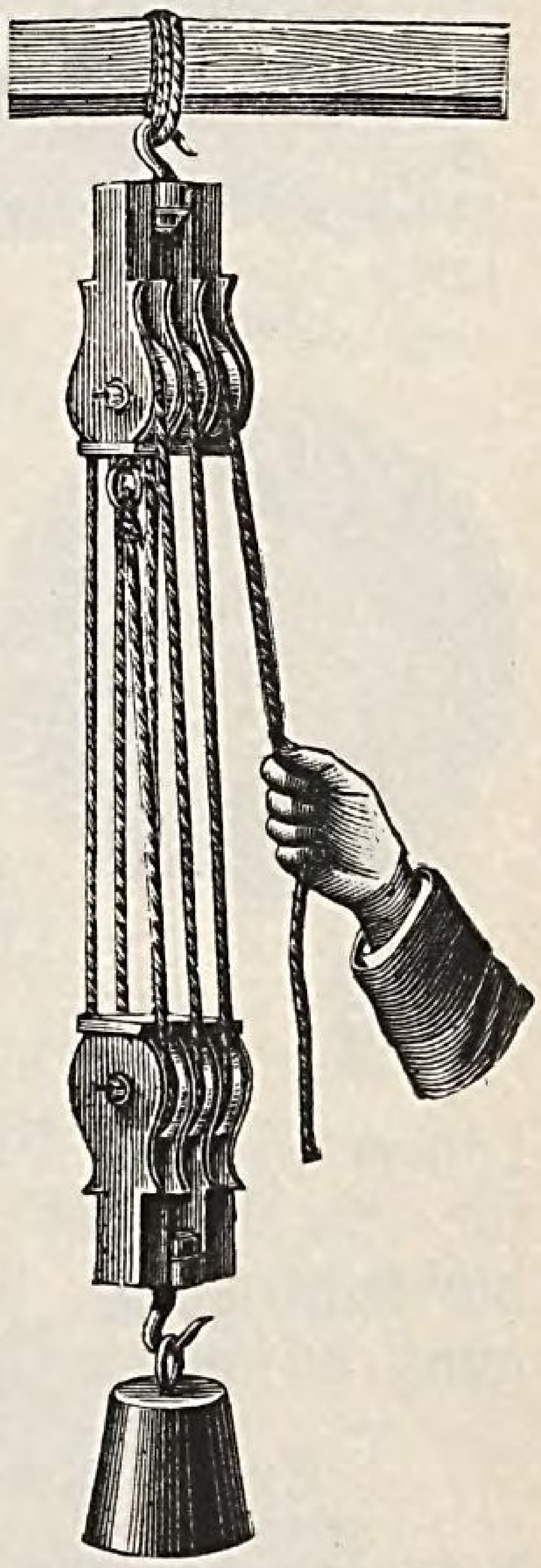



Fig. 46.



In Fig. 45 und 46 sind zwei Flaschenzüge dargestellt, bei denen die Last von 6 gleichstark gespannten Seilteilen getragen wird; jeder Seilteil hat also $\frac{1}{6}$ der Last zu tragen. Ein am Ende des freien Seilteiles ausgeübter Zug braucht daher, wenn Gleichgewicht entstehen soll, auch nur $\frac{1}{6}$ so stark zu sein als der Zug, den die Last ausübt. Dies läßt sich durch Versuche bestätigen. Allgemein gilt folgendes Gesetz:

Am **gemeinen Flaschenzuge** herrscht *Gleichgewicht*, wenn sich die Kraft zur Last verhält, wie die Zahl 1 zur Anzahl der vom Seile umspannten Rollen. — Die *Wege*, welche Kraft und Last zurücklegen, stehen im umgekehrten Verhältnis zu einander.

---

**Übungsstoff.** 1. Worin stimmen die beiden abgebildeten Flaschenzüge überein, und wodurch unterscheiden sie sich voneinander? — 2. Führe Fälle an, in denen Flaschenzüge angewandt werden. — 3. Inwiefern ist es vorteilhaft, statt einer einzelnen Rolle einen Flaschenzug anzuwenden? — 4. Welcher mech. N. ist aber damit verbunden? — 5. In welchen Fällen wird eine einzelne Rolle vorzuziehen sein? — 6. Gewöhnlich setzt man einen gemeinen Flaschenzug aus 2 festen und 2 losen Rollen zusammen. Wie verhält sich dann die Kr. zur L., und wie verhalten sich ihre Wege zu einander? — 7. Welchen Vorteil bietet es, die Rollen nebeneinander statt übereinander zu legen? (vergl. Fig. 45 und 46.) — 8. Turmuhren können länger im Gange bleiben, wenn das Gewichtstück an einem Flaschenzuge hängt. Erkl.! — 9. Ein Mauerstein von 120 kg soll an einem Baugerüste hinaufgezogen werden. Der dabei benutzte Flaschenzug enthalte einmal 4, ein andermal 6 Rollen. Wv. Kr. ist jedesmal nötig, wenn vom Gewichte der losen Flasche, sowie von der Reibung abgesehen wird? — 10. Wv. L. würde man unter derselben Bedingung mit 25 kg Kr. überwinden können? — 11. Wie hoch würde der Stein in jenem Falle gehoben werden, wenn der Seilteil, an dem die Kr. wirkt, 60 cm hinuntergezogen würde? — 12. Wie tief müßte das Seil hinuntergezogen werden, wenn der Stein 4 m hoch gehoben werden sollte?

---

## § 15. Wellrad.

Um Wasser aus tiefen Brunnen oder Baumaterialien auf die Gerüste zu heben, Erde oder Gestein aus Schachten zu fördern, das Steuerruder der Schiffe vom Deck aus zu bewegen u. s. w. bedient man sich des **Wellrades**, d. h. einer Vorrichtung, die aus einer starken, drehbaren Welle besteht, an deren einem Ende gewöhnlich mehrere Stäbe wie Speichen eines Rades (Fig. 47 links) befestigt sind.

Fig. 47.

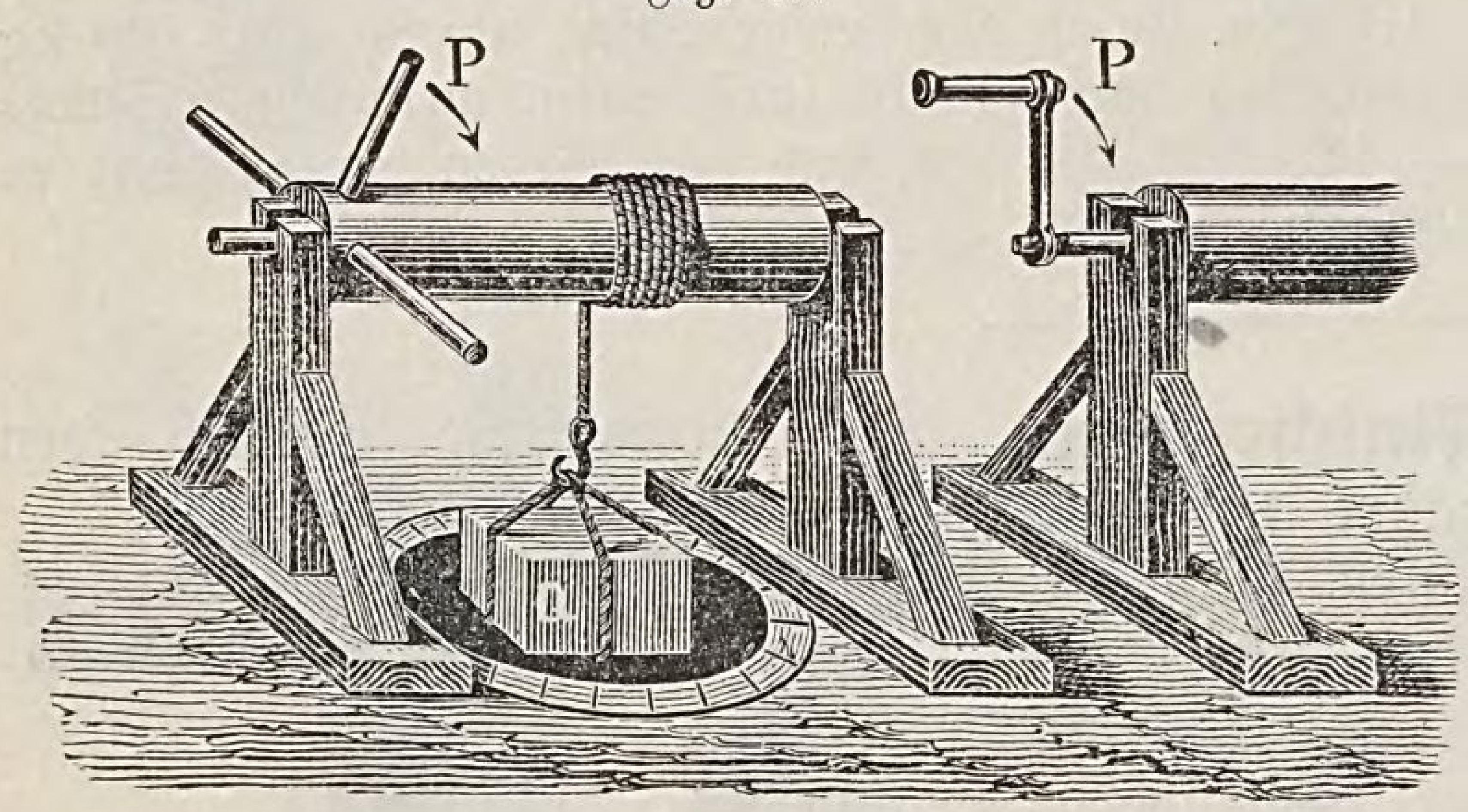
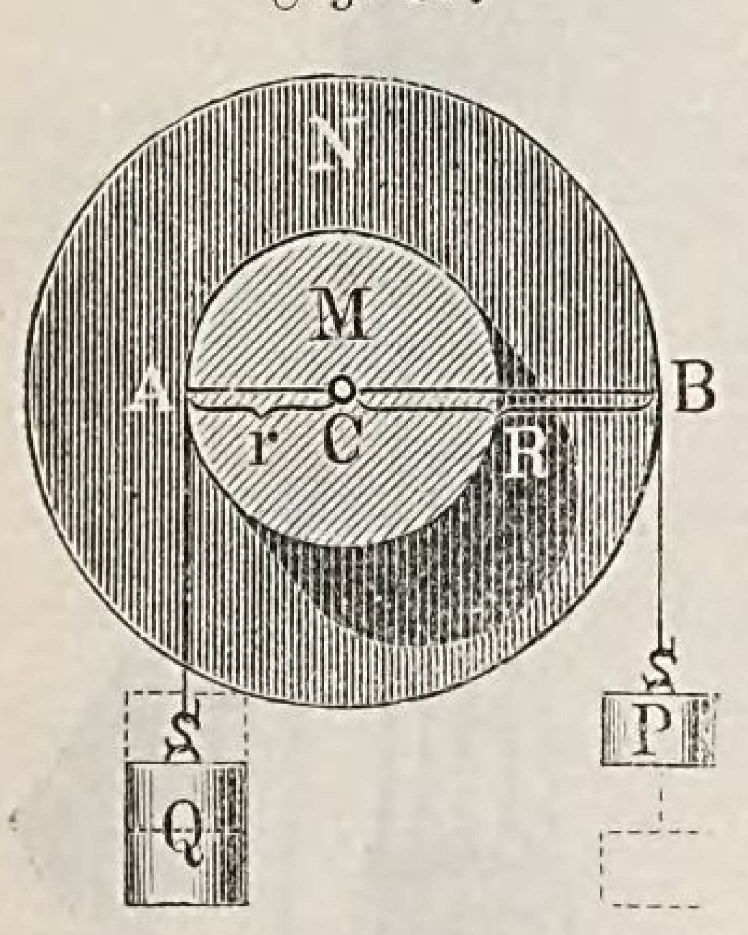



Fig. 48.




Das äußere Ende der Stäbe dient als Angriffspunkt für die Kraft, während die an einem Seile oder einer Kette befestigte Last auf die Welle einwirkt. Häufig befindet sich an der Welle eine Kurbel, an der die Kraft angreift (Brunnenwinde, Fig. 47 rechts). Dadurch, daß man die Welle um ihre Achse dreht, wickelt sich das Seil oder die Kette auf oder ab.

Fig. 48 stellt die Vorderansicht eines Wellrades dar, auf dessen Welle eine Scheibe befestigt ist; AC giebt den Halbmesser der Welle (Drehungsarm der Last), CB den der Scheibe (Drehungsarm der Kraft) an. Beim Wellrade kommt somit der ungleicharmige Hebel zur Anwendung. Wie müßte sich für den Fall des Gleichgewichtes die Kraft P zur Last Q verhalten, wenn die Kraft in B, die Last in A auf AB als einen Hebel einwirkte? — Bestätigung durch den Versuch.

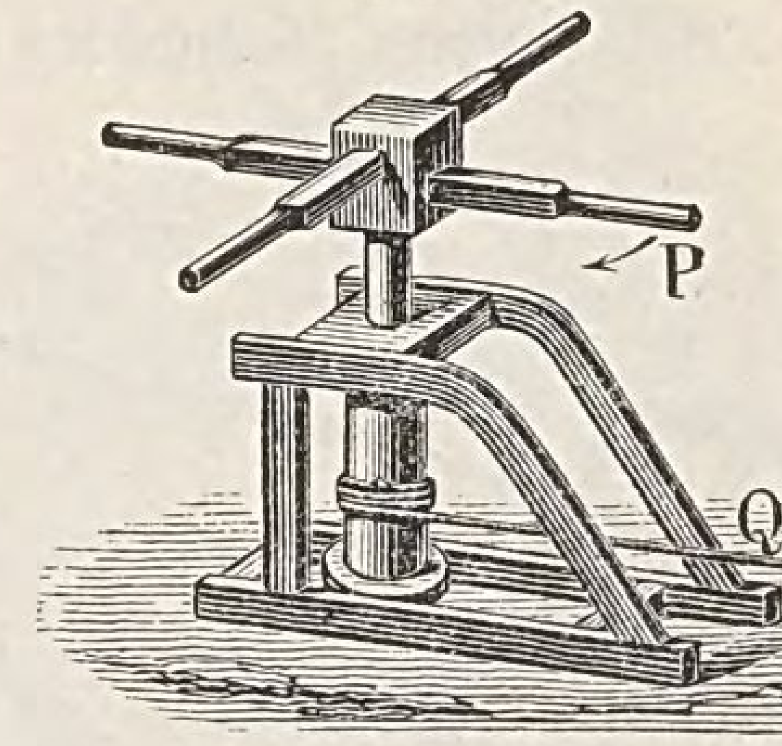
Am **Wellrade** herrscht Gleichgewicht, wenn sich die Kraft zur Last verhält, wie der Halbmesser der Welle zum Halbmesser des Rades (oder zur Länge der Kurbel). (Kraft × Drehungsarm der Kraft = Last × Drehungsarm der Last.)

Beispiel. Ist die Welle eines Wellrades 16 cm dick, die Kurbel 32 cm lang, so braucht nur $\frac{1}{4}$ der Last als Kraft angewandt zu werden; warum?

Bei einer Drehung des Wellrades verhalten sich die von Kraft und Last zurückgelegten **Wege** umgekehrt wie Kraft und Last zu einander.

Beispiel. Um vermittelst jenes Wellrades die Last 1 m hoch zu heben, muß die Kraft einen Weg von 4 × 1 m = 4 m zurücklegen.

Fig. 49.




Außer den Wellrädern mit wagerecht liegender Welle (sogen. **Haspeln**) giebt es auch solche, bei denen die Welle senkrecht steht; diese heißen **Göpel** (einfachste Einrichtung siehe Fig. 49: Erdwinde). — Das Wellrad findet namentlich bei den Räderwerken aller zusammengesetzten Maschinen eine ausgedehnte Anwendung (siehe § 16).

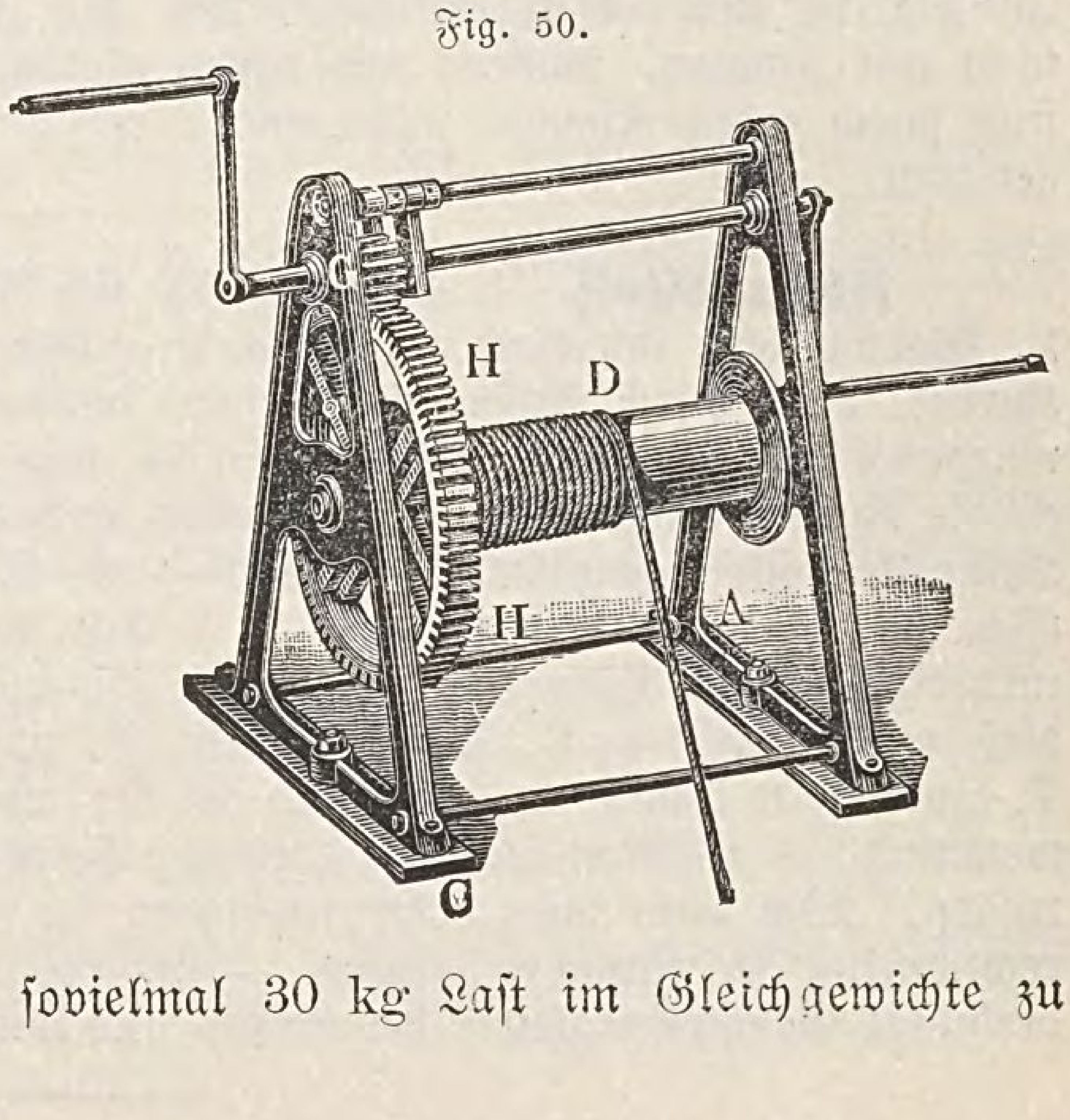
---

**Übungsstoff.** 1. Nenne Werkzeuge, Haus- und Küchengeräte u. dgl., an denen Wellräder zur Anwendung kommen. — 2. Was ist bei jeder dieser Anwendungen die „Kraft" und was die „Last"? — 3. Wo wirkt nach Fig. 49 an einem einfachen Göpel die Kr. und wo die L.? — 4. An welchem Maschinenteile läßt man bei Wind- und Wassermühlen die Kr. wirken? — 5. Durch welche mech. Vorrichtungen setzt sich die durch Wind oder Wasser erzeugte Bewegung in der Mühle selbst weiter fort? — 6. Nenne ein Küchengerät und ein Musikinstrument, bei denen das Wellrad zur Anwendung kommt. — 7. Welchen Einfluß würde es auf die Wirkung eines Wellrades ausüben, wenn man a die Welle dicker oder dünner, b. die Kurbel größer oder kleiner machte? — 8. Wie kann man somit das Verhältnis der Halbmesser, an denen beim Wellrade Kr. und L. wirken, ändern? — 9. Leite das Gesetz über das Glgew. des Wellrades nach Anleitung von Fig. 48 aus dem Hebelgesetze ab. — 10. Bei einem Wellrade sei der Durchmesser der Welle 16 cm, der Durchmesser des Rades 80 cm; wv. L. kann dann durch 10, 15, 20 kg Kr. im Glgew. gehalten werden? — 11. Wv. L. würde im Glgew. gehalten werden können, wenn an der Welle eine Kurbel von 32 cm Länge befestigt wäre? — 12. Wv. Kr. würde nötig sein, wenn an demselben Wellrade (Frage 10 und 11) 60, 80, 100 kg im Glgew. gehalten werden sollten? — 13. Um wv. würde die L. gehoben sein, wenn die Kr. einen Weg von 6 m zurückgelegt hätte? — 14. Welchen Weg müßte die Kr. zurücklegen, wenn die L. um 2,5 m gehoben werden sollte? — 15. Wie läßt sich aus den von der Kr. und der L. zurückgelegten Wegen das Verhältnis zwischen Kr. und L. ableiten?

---

**§ 16*. Verbindungen des Wellrades.** **a. Die Seilwinde.** Um die Wirkung des Wellrades bedeutend zu erhöhen, befestigt man auf der Lastwelle ein Zahnrad und läßt die Kraft mittelst einer Kurbel auf eine besondere Welle einwirken, die ebenfalls mit einem gezahnten, aber kleineren Rade versehen ist (Fig. 50). Beide Zahnräder greifen ineinander. Eine solche Vorrichtung heißt **Seilwinde.** Ihre größere Wirkung erklärt sich daraus, daß der Druck, der durch das Wellrad der Kraft gegen die Zähne des Wellrades der Last ausgeübt wird, auf letzteres wieder als Triebkraft einwirkt.

Fig. 50.




Wirkte an der Kurbel (Fig. 50) eine Kraft von 10 kg, so würde der von den Zähnen des kleinen (treibenden) Rades gegen die Zähne des großen Rades ausgeübte Druck 30 kg betragen, wenn die Kurbel 3mal so lang wäre als der Halbmesser des kleinen Rades. Dieser am großen Rade als Triebkraft wirkende Druck vermag soviel mal 30 kg Last im Gleichgewichte zu

halten, als der Halbmesser dieses Rades größer ist als der Halbmesser der Lastwelle, also 90 kg, wenn das Verhältnis ebenso ist, wie zwischen der Kurbel und dem Halbmesser des kleinen Rades. In diesem Falle muß die Kraft, um die Last 1 m hoch zu heben, einen Weg von 9 m Länge zurücklegen.

Bei den an Bahnhöfen, Häfen, in Maschinenfabriken u. s. w. zum Heben sehr großer Lasten angewandten **Kränen** greifen mehrere Räder ineinander (Fig. 51). Dadurch wird noch mehr an Kraft gespart, als bei dem in Fig. 50 dargestellten sogen. einfachen Vorgelege.

Fig. 51.

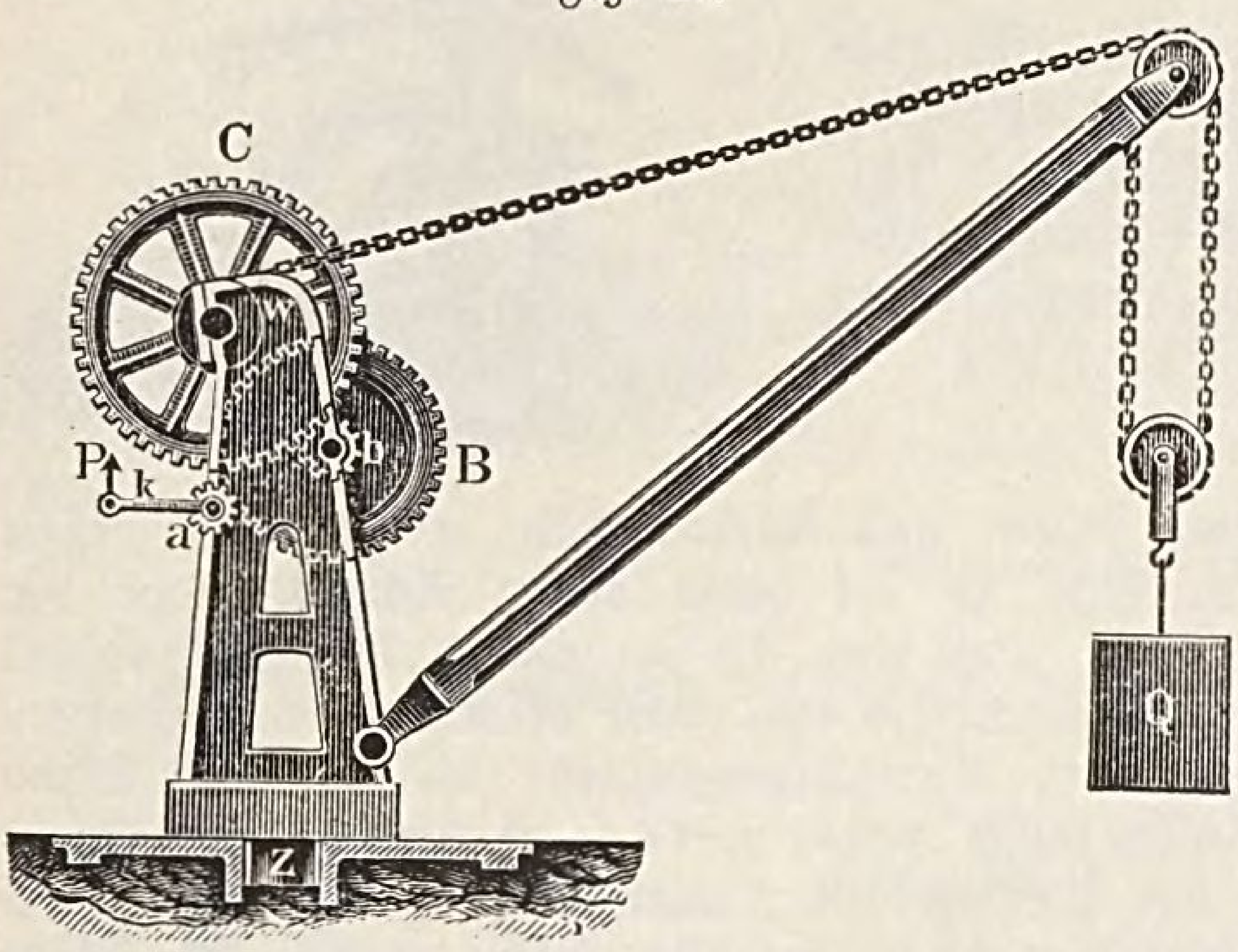
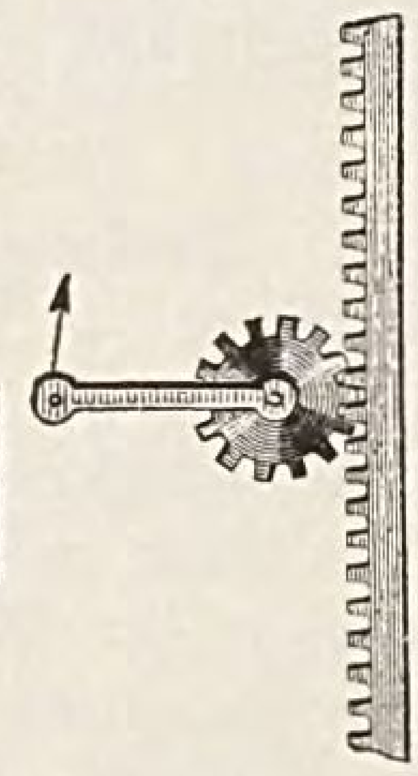



Fig. 52.



**b. Die Wagenwinde.** Sie dient dazu, große Lasten auf eine geringe Höhe zu heben. Zu diesem Zwecke greifen die Zähne eines kleinen, durch eine Kurbel drehbaren Zahnrades in eine starke eiserne Zahnstange ein, die sich durch das Drehen der Kurbel auf- und abbewegt (Fig. 52). Zahnrad und Stange sind von einem starken Gehäuse umgeben.

In den Räderwerken zusammengesetzter Maschinen hat das Wellrad namentlich den Zweck, die Bewegung einer Welle auf eine andere Welle zu übertragen (Fig. 53 bis 56).

Fig. 53.

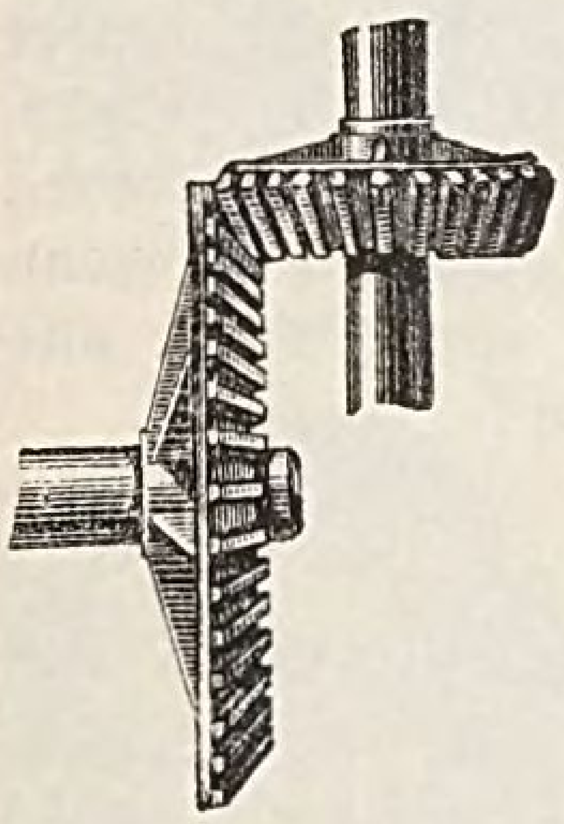


Fig. 54.

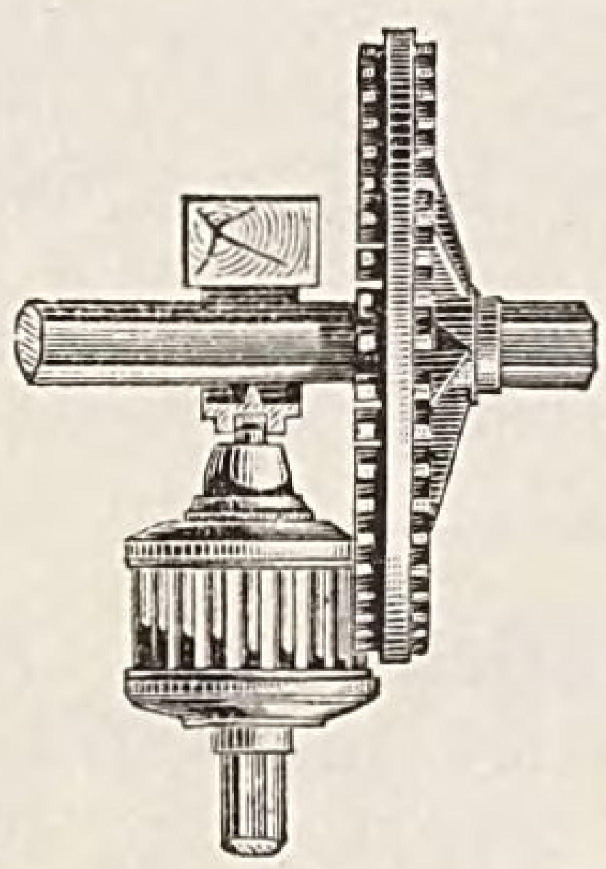


Fig. 55.

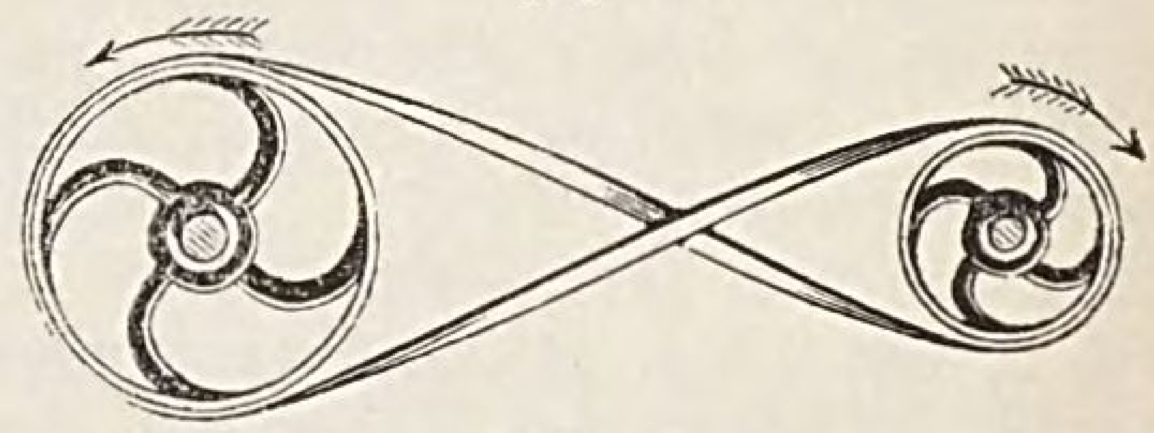
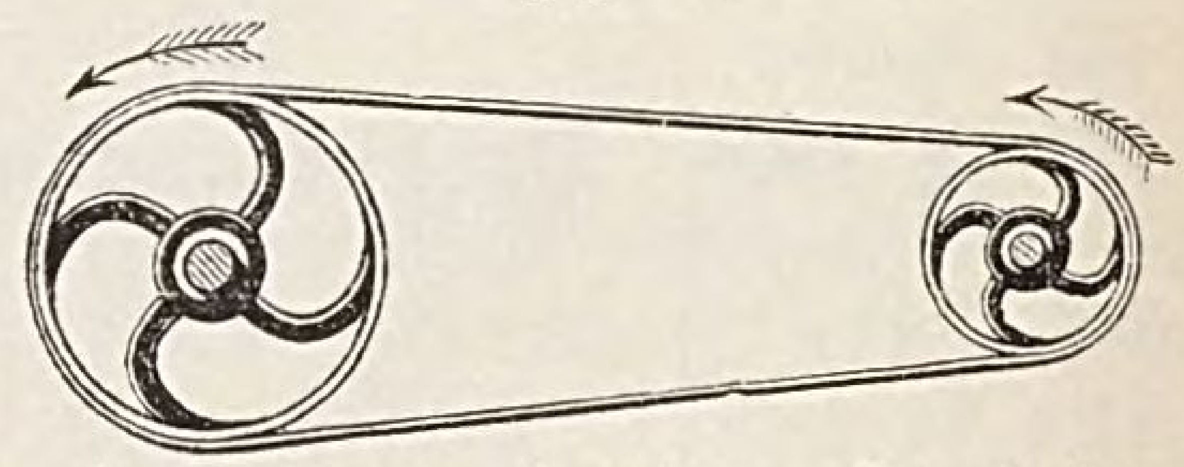


Fig. 56.



In Fig. 53 und 54 stehen die Wellen der Zahnräder senkrecht zu einander. Die beiden nicht mit Zähnen, sondern mit einem glatten Reifen versehenen Räder (Fig. 55 und 56) sind durch einen Riemen miteinander verbunden und werden daher Riemenscheiben genannt.

---

**Übungsstoff.** **1.** Wodurch läßt sich die Wirkung des Wellrades stark vergrößern? — **2.** Warum läßt sich dies nicht auch in gleichem Maße durch eine bloße Vergrößerung der Kurbel, oder durch Anwendung einer dünneren Welle erreichen? — **3.** Welchen Einfluß würde es auf das Verhältnis zwischen Kr. und L. ausüben, wenn bei der Seilwinde (Fig. 50) a. die Kurbel länger, b. das treibende Rad größer, c. das getriebene Rad größer, d. die Lastwelle dicker genommen würde? — **4.** Welchen Zweck hat der an dem oberen Stabe (Fig. 50) hängende Sperrhaken? — **5.** Ein schwerer Mauerstein soll mittelst einer Seilwinde und einer festen Rolle am Baugerüste hinaufgezogen werden. In welcher Weise läßt sich dies ausführen? — **6.** Welcher mech. V. und welcher mech. N. ist damit verbunden? — **7.** Inwiefern kommt das Wellrad bei der Wagenwinde in ganz besonderer Weise zur Anwendung? — **8.** Man will die drehende Bewegung einer Welle auf eine andere Welle übertragen. Wie kann man dabei verfahren, a. wenn beide Wellen parallel sind, b. wenn sie rechtwinklig zu einander stehen? — **9.** Wovon hängt das Verhältnis zwischen den Umdrehungs-Geschwindigkeiten der großen und kleinen Räder (Fig. 50—56) ab? Zahlenbeispiel?

**§ 17. Schiefe Ebene.** Gefüllte Fässer, Warenballen u. dgl. pflegt man, um an Kraft zu sparen, mit Hilfe von Schrotleitern (Fig. 57) zu heben oder von niedrigen Lagerplätzen herabzulassen. Auch die mit geringer Steigung angelegten Bergstraßen (Fig. 58) gewähren den Vorteil der Krafterſparnis bei der Fortbewegung von Lasten. In beiden Fällen wirkt die Last durch ihr Gewicht senkrecht nach unten, die Kraft kann verschiedene Richtungen haben. So kann z. B. die Zuglinie des Wagens mit der Straße gleich gerichtet, oder auch etwas höher oder tiefer gerichtet sein.

Fig. 57.

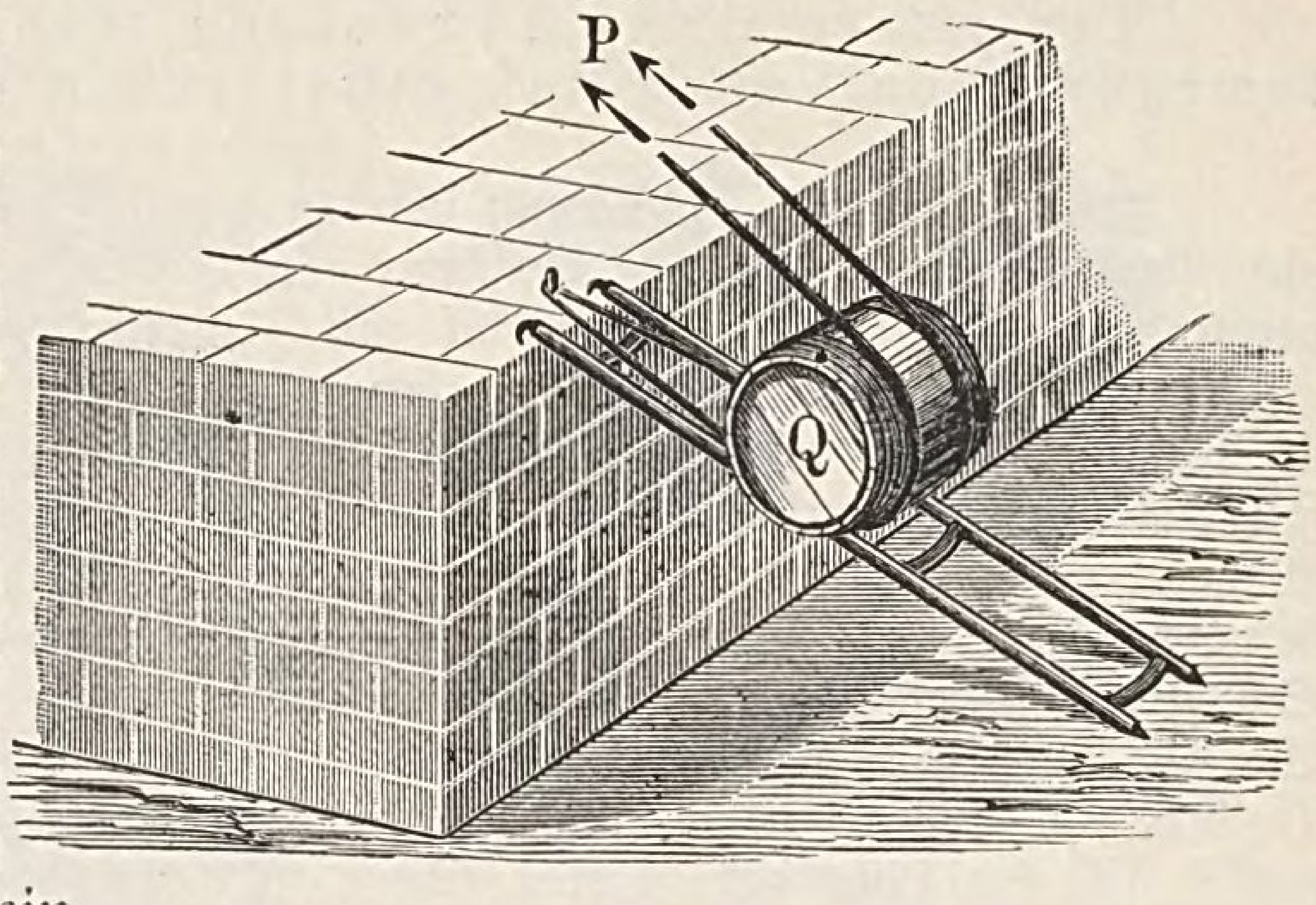
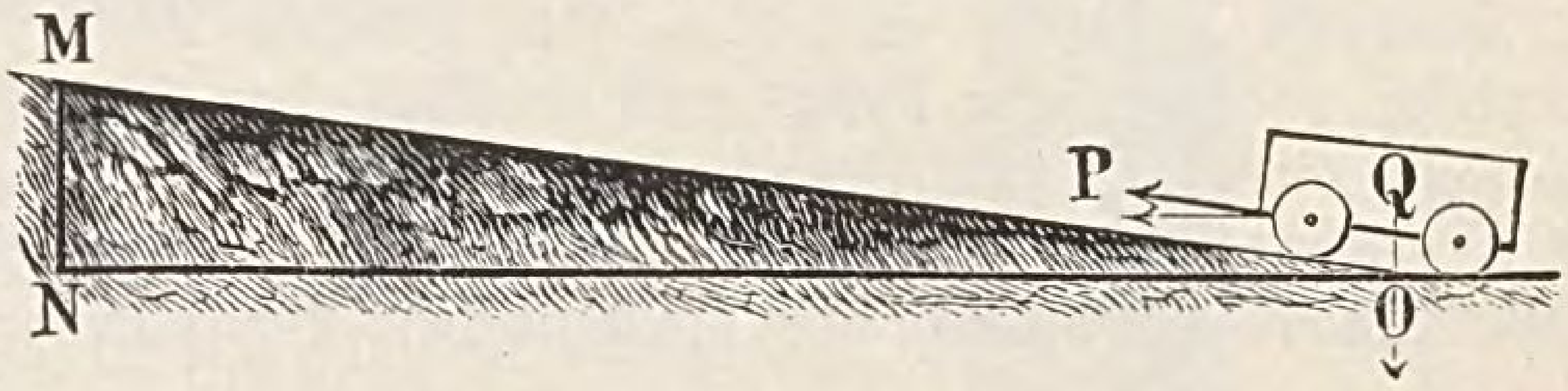


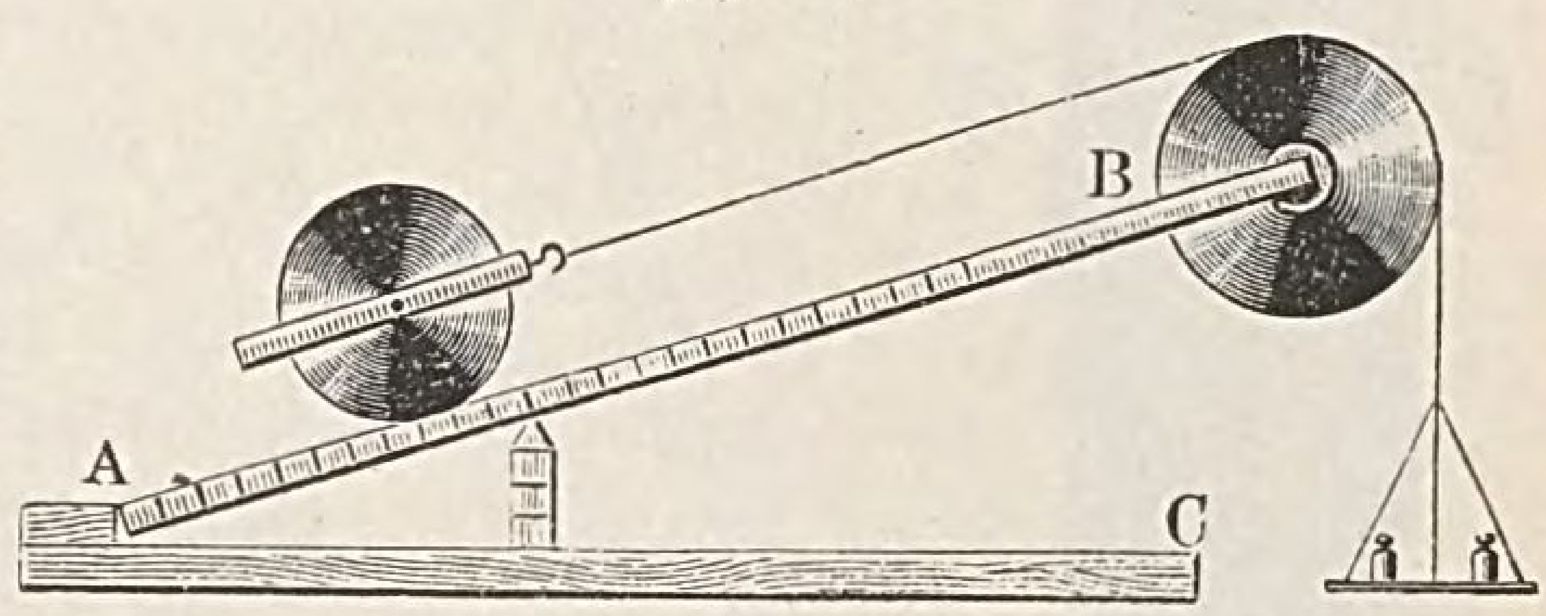

Fig. 58.




Jede schräg gerichtete ebene Fläche, auf der eine Last fortbewegt werden kann, wird **schiefe Ebene** genannt. Das Lot (MN, Fig. 58) vom höchsten Punkte (M) der schiefen Ebene auf eine durch den tiefsten Punkt (O) derselben gelegte wagerechte Ebene heißt Höhe, der zwischen dem Fußpunkte (O) der schiefen Ebene und dem Fußpunkte (N) des Lotes gelegene Teil der wagerechten Ebene Basis der schiefen Ebene. Ist MN = $\frac{1}{10}$ MO, so beträgt die Steigung $\frac{1}{10}$.

Die tägliche Erfahrung lehrt, daß man, um auf einer schiefen Ebene eine Last hinaufzubewegen, desto weniger Kraft anzuwenden braucht, je flacher die Ebene liegt; daß aber der Weg, den die Kraft zurücklegen muß, um die Last auf eine bestimmte Höhe zu heben, desto größer ist, je flacher die Ebene liegt. Ersteres ist ein mechanischer Vorteil, letzteres ein mechanischer Nachteil. — Aus genauen Versuchen, die sich mit Hilfe einer verstellbaren schiefen Ebene (Fig. 59) ausführen lassen, ergiebt sich:

Fig. 59.




Auf einer **schiefen Ebene** herrscht Gleichgewicht, wenn sich die Kraft zur Last verhält, wie die Höhe der Ebene zu ihrer Länge, vorausgesetzt, daß die Kraft in der Richtung der Ebene wirkt. (Kraft = Last × Steigung.)

Beispiel. Wäre die Schrotleiter (Fig. 57) 3 m lang und die Mauer 1 m hoch, so würde man, um das Faß (ohne das Seil) zu halten, wenn die Kraft parallel zur Schrotleiter wirkte, $\frac{1}{3}$ der Last als Kraft anzuwenden haben. Bei jeder anderen Kraftrichtung ist mehr Kraft nötig.

Wirkt die Kraft parallel zur Basis der schiefen Ebene (siehe Fig. 58), so verhält sich die Kraft zur Last wie die Höhe der Ebene zu ihrer Basis.

Der Weg der Kraft verhält sich zu der Strecke, um welche die Last senkrecht gehoben wird, umgekehrt, wie sich Kraft und Last zu einander verhalten.

*Beispiel.* Die Arbeiter müssen, wenn sie das Faß (Fig. 57) auf einer Schrotleiter (ohne das Seil) hinauf- oder hinunterrollen, ihre Kraft auf einer 3mal so langen Strecke, als die Mauer hoch ist, auf das Faß einwirken lassen.

*Die allgemeinste Anwendung findet die schiefe Ebene zur Fortbewegung von Lasten auf ansteigenden Straßen und Eisenbahnen.*

---

**Übungsstoff.** **1.** Warum werden Bergstraßen in Windungen angelegt? — **2.** Welcher Nachteil ist bei der Fortschaffung von Lasten mit der Benutzung einer solchen Straße verbunden? — **3.** Ein Wagen soll mit Fässern beladen werden. Inwiefern ist die dazu erforderliche Kr. von der Länge der zu Hilfe genommenen Schrotleiter abhängig? — **4.** Welche von den beiden Zugrichtungen (Fig. 58) ist die vorteilhaftere? — **5.** Ein Faß soll auf einer Schrotleiter vom Wagen gerollt werden; es wiege 300 kg; die Höhe des Wagens betrage $\frac{1}{5}$ von der Länge der Leiter. Wv. Kr. ist zum Festhalten des Fasses mindestens nötig? — **6.** Ein Faß von 200 kg werde von zwei Arbeitern auf einer 3 m langen Schrotleiter hinabgerollt, deren oberes Ende gegen eine 0,75 m hohe Mauer gelehnt ist. Wv. Kr. muß jeder Arbeiter mindestens anwenden, um das Faß im Glgew. zu halten? — **7.** Wv. Kr. ferner, wenn nach Fig. 57 ein Seil zu Hilfe genommen wird? — **8.** Wie müßte sich die Höhe der schiefen Ebene zu ihrer Länge verhalten, wenn 360 kg L. durch 72 kg Kr. parallel zur Ebene im Glgew. gehalten werden sollten? — **9.** Wie würde sich bei der Fortbewegung jener L. der Weg der Kr. zu der Strecke verhalten, um welche die L. senkrecht gehoben wird? — **10.** Welches ist bei einer schiefen Ebene der von der L. wirklich zurückgelegte Weg, und welches der Weg, den sie in ihrer eigenen, d. h. senkrechten, Richtung zurücklegt? — **11.** Wie läßt sich aus dem Verhältnis der Wege auf die Gleichgewichtsbedingungen zurückschließen? — **12.** Vergl. die schiefe Ebene und den Hebel miteinander hinsichtlich des mechanischen Vorteils und Nachteils.

---

## § 18. Keil und Schraube.

**a. Der Keil.** Man bedient sich des Keiles bekanntlich zum Spalten eines Körpers (Fig. 60). Hierbei läßt man die Kraft gewöhnlich senkrecht auf die Endfläche (den *Rücken*) des Keiles einwirken, während die Last als Druck rechtwinklig gegen die beiden schrägen Seitenflächen (*Seiten* des Keiles) wirkt.

Fig. 60.

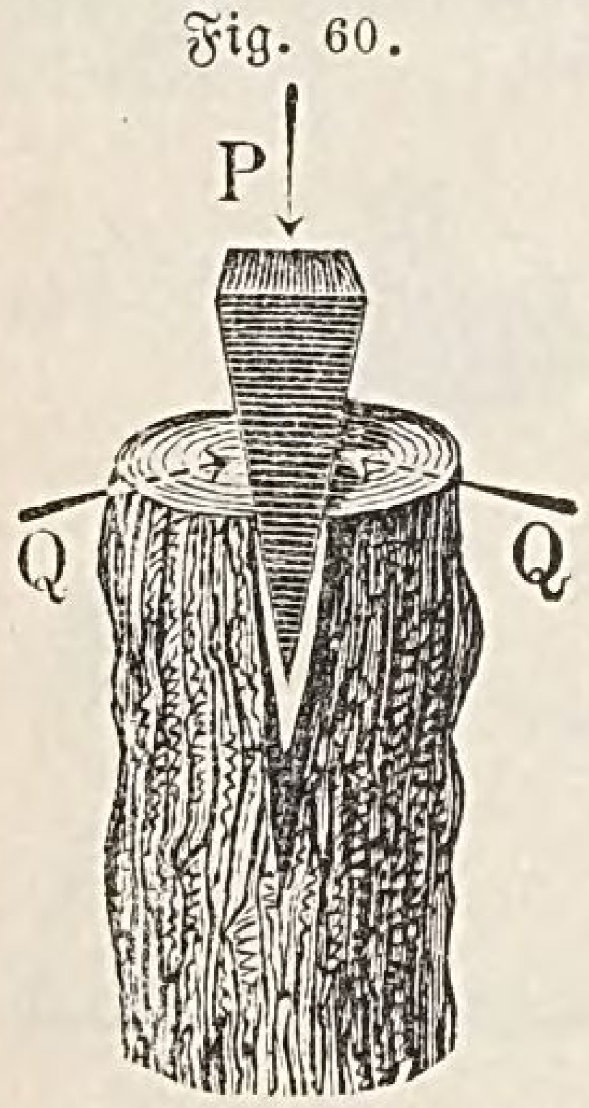
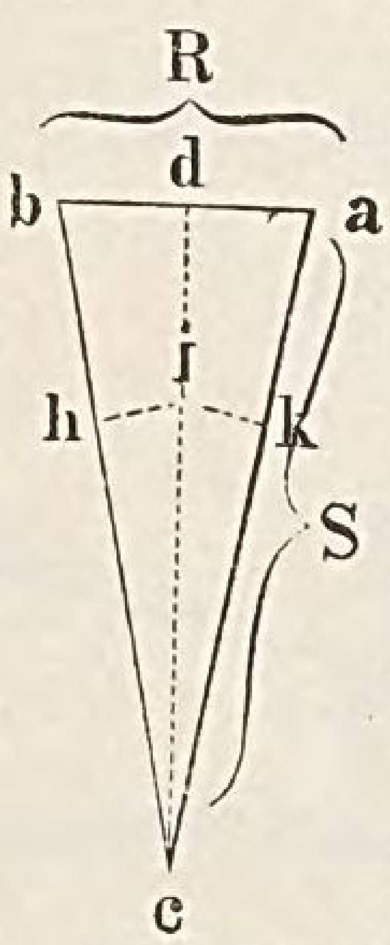



Fig. 61.




Der Keil kann aus zwei gleichen schiefen Ebenen zusammengesetzt gedacht werden, die mit ihrer Basis miteinander verbunden sind (Fig. 61). — Die Erfahrung lehrt:

Beim **Keile** ist um so *weniger* Kraft erforderlich, je *schlanker* er ist, d. h. je *schmaler* sein Rücken im Verhältnis zur Länge ist; ein schlanker Keil muß aber tiefer als ein stumpfer eingetrieben werden, wenn er die gleiche Wirkung hervorbringen soll.

Die *Anwendung des Keiles* ist eine sehr mannigfaltige. Zahlreiche Werkzeuge, wie Messer, Nadeln, Schwerter, Stemmeisen, Meißel, Beile, Pflugscharen, Spaten u. s. w., überhaupt alle Werkzeuge, die zum *Spalten*, *Schneiden* oder *Stechen* dienen, bilden Keile. Oft wendet man den Keil zur *Befestigung von Gegenständen* an. Nägel z. B. sind an der Spitze oder ihrer ganzen Länge nach keilförmig; die Räder der Maschinen werden auf ihren Wellen meist durch Keile befestigt, ebenso die Holzzapfen zu besserem Anschluß in den zugehörigen Löchern u. s. w. Auch zur *Ausübung eines bedeutenden Druckes* lassen sich Keile anwenden (Keilpressen).

**b. Die Schraube.** Fig. 62 (folg. Seite) stellt die bekannte Einrichtung einer *Bücherpresse* dar. C sei eine Schraube, durch deren Kopf ein Querstab (AB) gesteckt ist, Q der Gegenstand, welcher gepreßt werden soll. Durch wiederholtes Umdrehen der Schraube wird auf den Gegenstand ein *starker Druck* ausgeübt. Dies erklärt sich daraus, daß die schräg gerichteten Hervorragungen

(Windungen), die sich auf dem Umfange der Schraube befinden, in entsprechende Vertiefungen des festliegenden Querbalkens eingreifen (vgl. Fig. 63 und 64), wodurch beim Drehen der Schraube zugleich eine senkrechte Verschiebung derselben stattfindet.

Fig. 62.

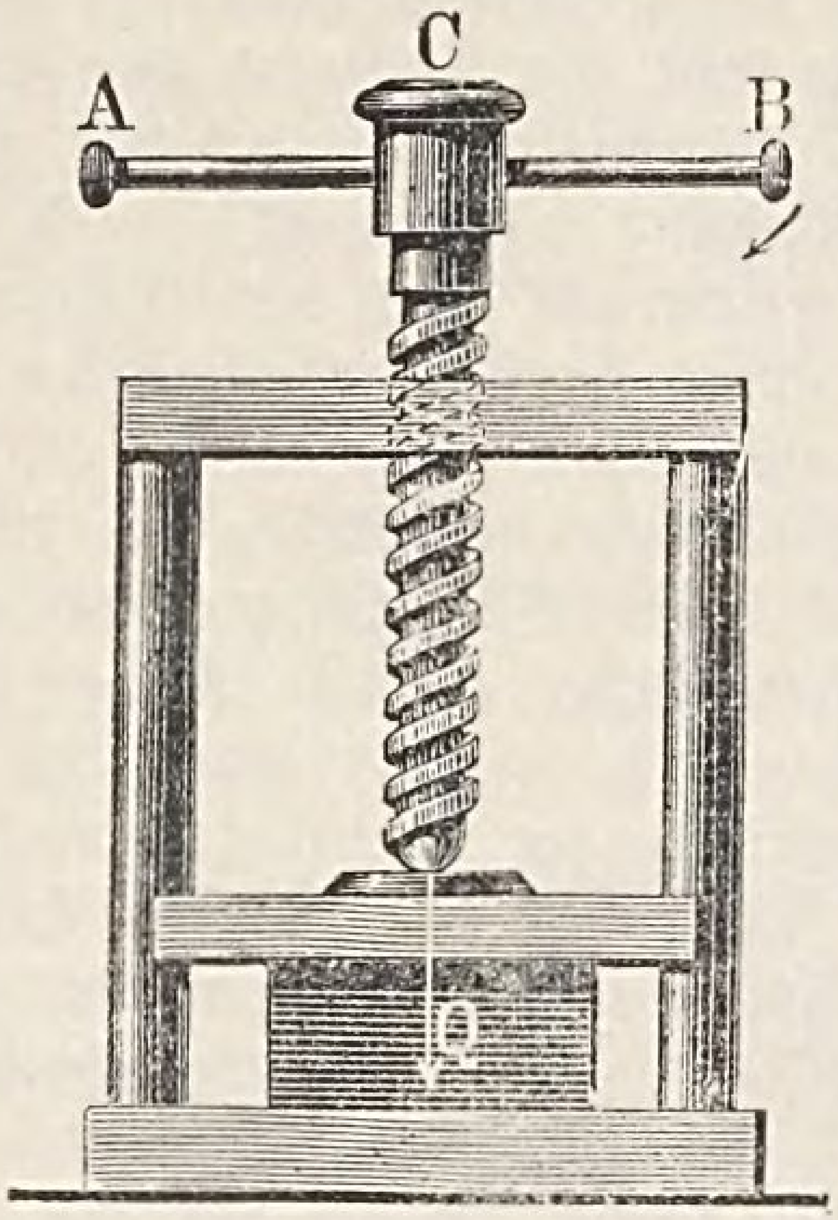



Fig. 63.

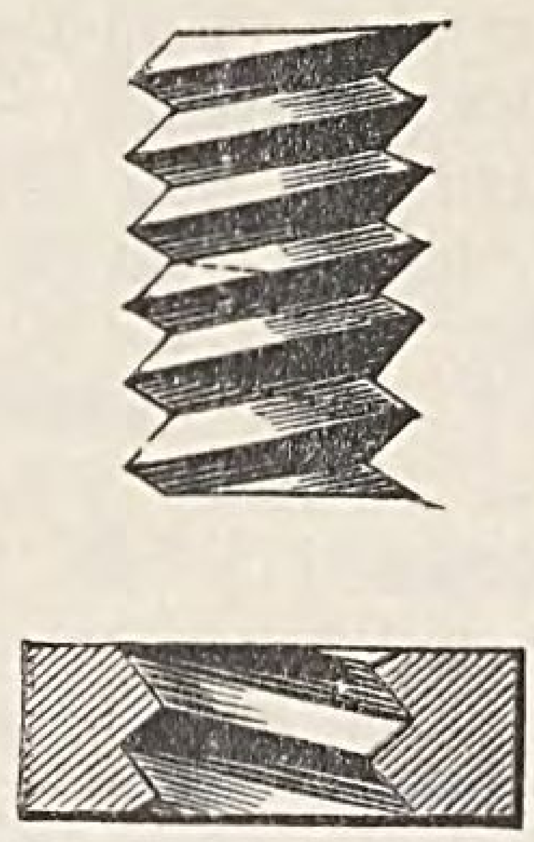
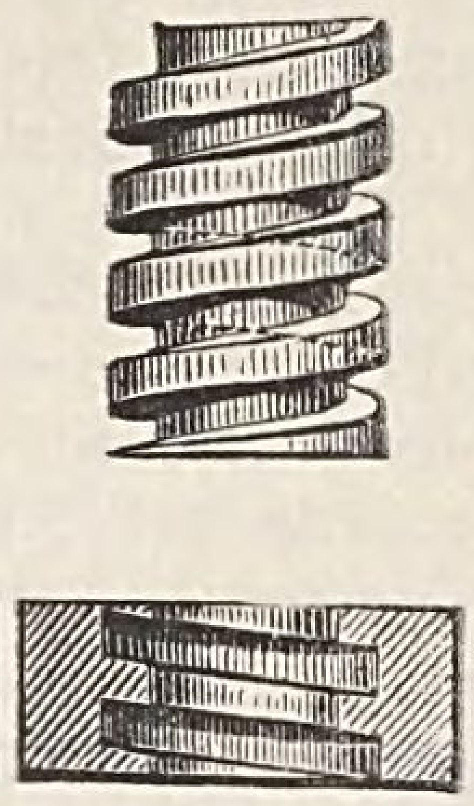
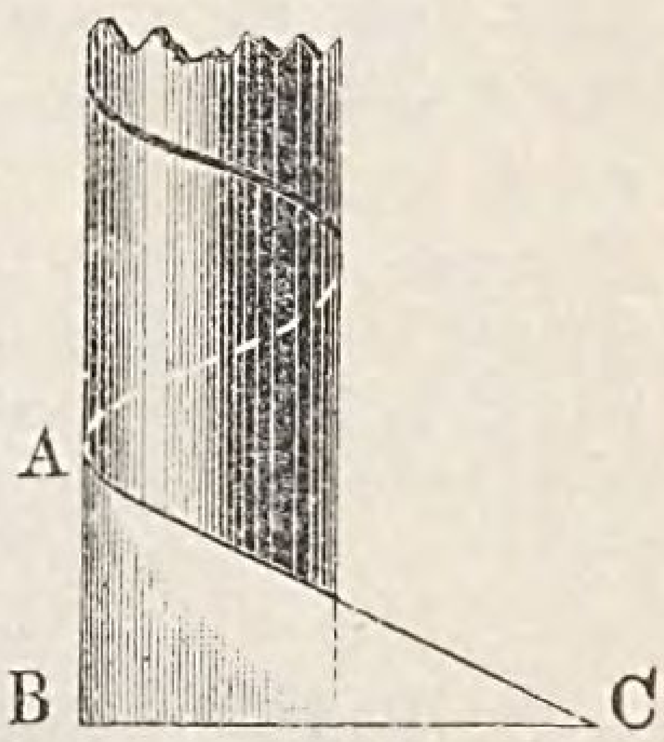


Fig. 64.



Eine vollständige Schraube besteht aus zwei Teilen: der Schraubenspindel und der Schraubenmutter. Bei jener sind die Windungen erhaben und liegen auf der äußeren, bei dieser sind sie vertieft und liegen auf der inneren Fläche.

Fig. 65.




Die Schraube kann als ein Cylinder angesehen werden, um den eine schiefe Ebene gewunden ist (siehe Fig. 65). Ein einzelner Umgang des Gewindes heißt **Schraubengang,** der Abstand zweier aufeinander folgenden Schraubengänge wird Höhe des Schraubenganges genannt. Die Erfahrung lehrt:

Je weniger steil die Windungen einer **Schraube** sind, desto weniger Kraft braucht man zur Ausübung eines Druckes oder Zuges bei ihr anzuwenden, desto öfter aber muß man die Schraube umdrehen, um die gleiche Wirkung zu erhalten.

Fig. 63 stellt eine scharfgängige, Fig. 64 eine flachgängige Schraube dar. Beide sind rechts gewunden; die Schraubenlinie in Fig. 65 dagegen ist links gewunden.

Zur Ausübung eines kräftigen Druckes dienen die an Schraubstöcken, Hobelbänken, Schraubzwingen, Wagenbremsen u. s. w. angebrachten Schrauben. Durch Schrauben (Schraubenwinden) lassen sich ferner bedeutende Lasten heben oder fortbewegen, z. B. gesunkene Häuser wieder in die richtige Lage bringen (Schiffsschraube, siehe § 28). Auch zur Ausführung kleiner Verschiebungen werden Schrauben angewandt, z. B. zum Richten großer Geschütze, zum genauen Einstellen von Mikroskopen u. dgl. In unzähligen Fällen bedient man sich der Schrauben zur Befestigung von Gegenständen (Schrauben mit eingeschnittenem Kopfe). Eine schraubenartige Vorrichtung, die dazu dient, Wasser auf geringe Höhen zu fördern, ist die sogen. Wasserschraube (Fig. 66). Ihre Schraubenflächen sind mit einem cylindrischen Mantel umgeben. In schräger Lage schöpft sie bei jeder Umdrehung unten Wasser, das dann immer höher steigt und oben abfließt. (Die älteste derartige Vorrichtung ist die Archimedische Wasserschnecke, eine schraubenförmig gewundene Röhre).

Fig. 66.

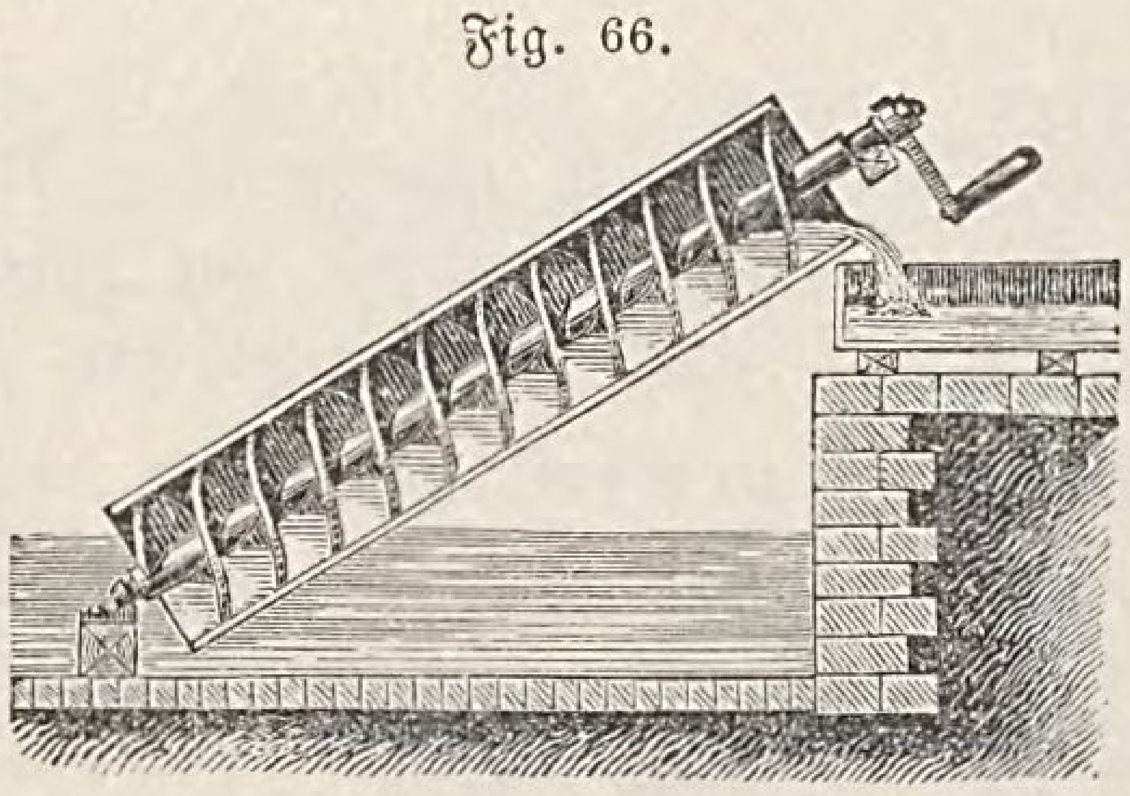
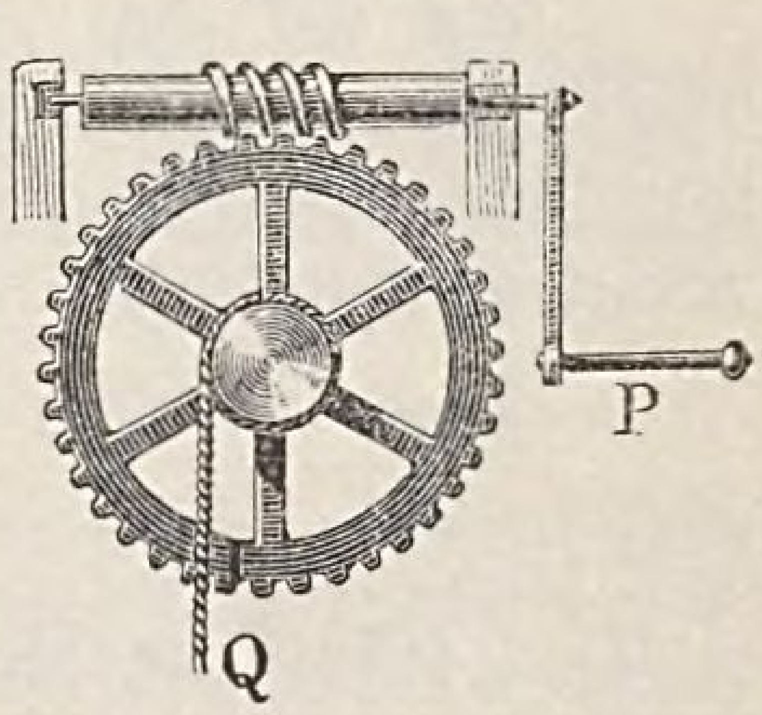


Fig. 67.




Eine eigentümliche Anwendung findet die Schraubenspindel in Verbindung mit dem Wellrade als sogen. Schraube ohne Ende (Fig. 67).

Keil und Schraube wirken wie schiefe Ebenen; hieraus erklärt sich die Krafterspарnis.

**Übungsstoff.** 1. Vergl. den Keil mit der schiefen Ebene. — 2. Welche dieser beiden einfachen Maschinen befindet sich in Ruhe, wenn sie angewandt wird, welche dagegen in Bewegung? — 3. Inwiefern können Spaten, Beile u. s. w. als Keile bezeichnet werden? — 4. Warum sind Messer, Meißel u. dgl. so geschliffen, daß sie ziemlich schlanke Keile bilden? — 5. Nenne Werkzeuge, a. deren Querschnitte, b. deren Längsschnitte keilförmig sind. — 6. Bei welchen Säugetieren tritt die Keilform der Zähne einer bestimmten Zahngruppe ganz besonders hervor? — 7. Inwiefern ist bei der gewöhnlichen Anwendung des Keiles zum Spalten von Holz die Reibung vorteilhaft? — 8. In welcher Beziehung steht die Größe des Keilwinkels zur Kraftersparnis nach den Beobachtungen, die man im täglichen Leben machen kann? — 9. Warum darf der Keilwinkel nur bis zu gewissen Grenzen verkleinert werden? — 10. Welche Lage nehmen bei einer vollständigen Schraube die beiden schiefen Ebenen zu einander ein, und wie verhalten sich diese gegeneinander bei einer Drehung der Schraube? — 11. Vergl. die Bewegungen, welche eine Schraube beim Gebrauche ausführt, mit denen der losen Rolle. — 12. Wovon hängt die Schnelligkeit jeder dieser Bewegungen bei der Schraube ab? — 13. Nenne mit Schrauben versehene Werkzeuge, Instrumente u. s. w., bei denen a. die Spindel gedreht wird und die Schraubenmutter festliegt, b. das Umgekehrte stattfindet. — 14. Die Schrauben zweier Bücherpressen seien gleichdick, das Gewinde der einen aber sei weniger steil als das der anderen. Durch welche läßt sich der stärkere Druck ausüben? — 15. Welcher mech. N. ist damit verbunden? — 16. Unter der Pendelscheibe einer Stubenuhr (Regulator) befindet sich stets eine Schraube, durch welche die Scheibe höher und tiefer gestellt werden kann. Das Gewinde dieser Schraube ist sehr eng; w.? — 17. Welchen Einfluß würde es auf die Wirkung einer Schraube ausüben, wenn die Kraft nicht am Umfange der Spindel, sondern an einem quer durch den Kopf derselben gesteckten Stabe (Fig. 62) angriffe? — 18. Welchen Einfluß hätte dies auf das Verhältnis der Wege?

---

**§ 19*. Maschine. Kraft und Arbeit. Hindernisse der Bewegung.** Hebel, Rolle, Wellrad, schiefe Ebene, Keil und Schraube haben sämtlich den Zweck, zu vermitteln, daß die Wirkung einer Kraft günstiger ausfalle, als wenn die Kraft unmittelbar auf die Last einwirkt. So gestattet der gleicharmige Hebel und die feste Rolle eine vorteilhafte Änderung der Kraftrichtung, während durch die übrigen Vorrichtungen an Kraft oder an Geschwindigkeit gewonnen wird.

Jede Vorrichtung, die dazu dient, eine Kraft in vorteilhafter Weise auf eine Last zu übertragen, wird **Maschine** genannt.

Die angeführten sechs Maschinen lassen sich nicht wieder in maschinenartige Vorrichtungen zerlegen; sie werden daher als **einfache Maschinen** bezeichnet. Von diesen sind Rolle und Wellrad, wie wir gesehen haben, nichts anderes als Hebel, welche in eigentümlicher Weise zur Anwendung kommen, während Keil und Schraube nichts anderes sind, als besondere Arten der schiefen Ebene. — Die sechs einfachen Maschinen sind die Hauptbestandtheile aller zusammengesetzten Maschinen.

Es hat sich ferner ergeben, daß beim Gebrauche der sechs einfachen Maschinen mit jeder Kraftersparnis ein mechanischer Nachteil verbunden ist, indem der Weg, auf dem die Kraft den Widerstand der Last überwindet, mit der Kraftersparnis an Größe zunimmt. In dieser Beziehung gilt überhaupt der Satz:

Was bei einer Maschine an Kraft gewonnen wird, geht am Wege verloren, oder: der mechanische Vorteil ist stets gleich dem mechanischen Nachteile. **(Goldene Regel der Mechanik.)**

Die Größe der Kraft, durch die (mit oder ohne Maschine) ein Druck oder Zug ausgeübt wird, pflegt man in Gewichtseinheiten auszudrücken. „Eine Kraft ist gleich 1 kg" soll heißen: die Kraft ist so groß, daß sie in ihrer Richtung, d. h.

in der Richtung, in der sie wirkt, einen ebenso großen Druck oder Zug hervorbringt, als ein Körper von 1 kg Gewicht in senkrechter Richtung ausübt. Eine solche Kraft wird **Krafteinheit** genannt.

Indem eine Kraft einen Widerstand überwindet, z. B. einen Stein hebt, eine Feder spannt, einen Pflug oder Wagen fortzieht u. s. w., übt sie in jedem Punkte ihres Weges einen Druck oder Zug aus; sie überwindet also auf einer gewissen Strecke einen Widerstand. Eine solche Kraftwirkung bezeichnet man als **mechanische Arbeit** oder kurz als Arbeit. Ihre Größe hängt nicht allein von der Größe des überwundenen Widerstandes ab, sondern auch von der Größe der Strecke, auf welcher der Widerstand überwunden wurde, und zwar wächst die Arbeit mit beiden in gleichem Verhältnis. Als **Arbeitseinheit** bezeichnet man die Arbeit, die verrichtet wird, wenn eine Last von 1 kg 1 m hoch gehoben, überhaupt ein Widerstand von 1 kg auf einem Wege von 1 m überwunden wird: Kilogrammmeter (kgm) oder Meterkilogramm (mkg).

Bei Dampfmaschinen, wie überhaupt in allen Fällen, in denen eine bedeutende mechanische Arbeit geleistet wird, wendet man die sogen. Pferdekraft als Maß für die geleistete Arbeit an. Man versteht unter einer Pferdekraft eine Arbeitsleistung von 75 mkg in einer Sekunde.

Die Hindernisse, welche sich der Fortbewegung eines Körpers entgegenstellen, sind hauptsächlich die Reibung und der Widerstand des Mittels (Widerstand der Luft oder des Wassers). **Reibung** entsteht immer, wenn ein Körper sich auf einem anderen fortbewegt. Je nachdem der bewegte Körper über die anderen hingleitet oder fortrollt, unterscheidet man gleitende und rollende Reibung. Die Reibung hat ihren Grund darin, daß selbst die glattesten Flächen fester Körper Unebenheiten besitzen und daß die sich berührenden Teilchen der beiden Körper einander anziehen. Da nun die Unebenheiten der Berührungsflächen mehr oder weniger ineinandergreifen, so müssen durch die Bewegung die hervorragenden Teilchen abgestoßen werden, oder der bewegte Körper muß über sie hinweggehoben werden.

Die gleitende Reibung ist größer als die rollende.

Die Reibung gewährt zahlreiche Vorteile. Ohne Reibung würde das Gehen, Fahren, das Festhalten von Gegenständen, das Eintreiben von Nägeln und Keilen, das Anziehen von Schrauben, das Übertragen der Bewegungen von Maschinenteilen mittelst Riemen, das Spielen von Streichinstrumenten u. s. w. unmöglich sein. Bei der Anwendung von Maschinen wirkt die Reibung dadurch nachteilig, daß die wirklichen Nutzleistungen, d. h. die Überwindung der durch den Zweck der Maschine bedingten Widerstände, hinter der Arbeit der Kraft zurückbleiben. Die gleitende Reibung wird namentlich in solchen Fällen, in denen Lasten auf dem Boden fortzubewegen sind, dadurch vermieden, daß man unter den betreffenden Gegenständen sogen. Leitrollen befestigt. Tische, Sessel, Bettstellen u. s. w. lassen sich bedeutend leichter verschieben, wenn sie mit derartigen Rollen versehen sind.

Um den Widerstand des Mittels zu verkleinern, giebt man Kähnen, Schiffen, den Scheiben der Uhrpendel u. s. w. eine besondere Form (welche?). Der Widerstand des Mittels ist vorteilhaft beim Schwimmen, Rudern, bei der Fortbewegung von Dampfschiffen durch Schaufelräder und Schrauben, beim Fallen mit einem Fallschirme, beim Fliegen der Vögel u. s. w.

---

**Übungsstoff.** 1. Bei welcher einfachen Maschine hat der mech. V. und N. eine bestimmte Größe? — 2. Wovon sind beide bei den übrigen einfachen Maschinen abhängig? — 3. Wv. Arbeit wird verrichtet, wenn 4500 kg Mauersteine 6 m hoch gehoben werden? — 4. Ein Wagen werde 20 m weit fortbewegt und leiste einen Widerstand von 150 kg. Wv. Kraft? — 5. Kann die Form der Geschosse (ob kugelig oder spitz) einen Einfluß auf ihre Flugweite ausüben, u. w.? — 6. Warum fließt das W. eines Flusses in der Mitte schneller als am Ufer? — 7. Warum steigt bei Springbrunnen und Feuerspritzen das W.

nicht so hoch, als es nach der Größe des ausgeübten Druckes steigen müßte? — **8.** Welchen Einfluß würde es auf die Bewegung eines Eisenbahnzuges ausüben, wenn man die Schienen stark mit Fett bestriche? (Raupenzüge.) — **9.** Warum laufen Zapfen in ihren Lagern am leichtesten, wenn sie schon längere Zeit gebraucht sind? — **10.** Welche Mittel werden angewandt, um auf Fahrstraßen die Reibung zu vermindern? — **11.** Führe Fälle an, in denen es vorteilhaft ist, die Reibung zu vergrößern. (Mittel?)

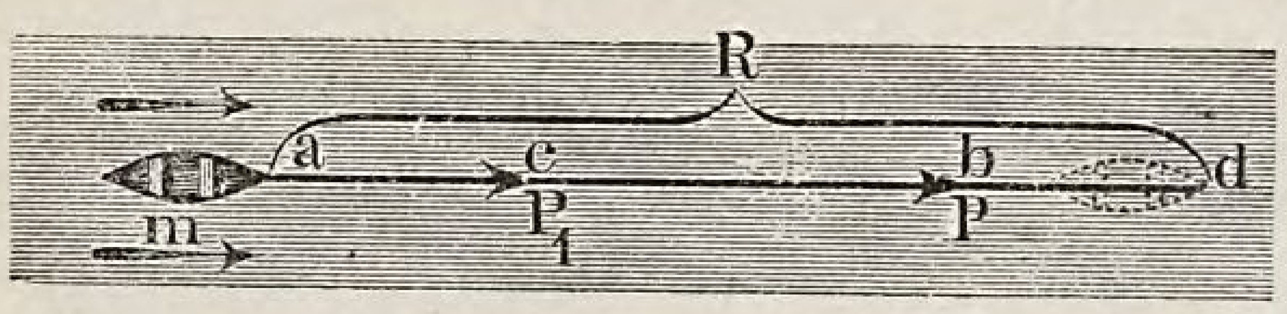
---

## Zusammensetzung und Zerlegung von Kräften.

**§ 20*. Zusammensetzung von Kräften. (Parallelogramm der Kräfte.)** In zahlreichen Fällen ist die Bewegung eines Körpers ein Ergebnis von dem Zusammenwirken zweier oder mehrerer Kräfte. (Beispiele: Das Fortziehen eines Wagens durch mehrere Zugkräfte, die Fortbewegung eines Kahnes durch Ruderkraft und Strömung, eines Segelschiffes durch Wind und Strömung u. s. w.). Diese Kräfte kann man sich durch eine einzige Kraft (*Mittelkraft*) ersetzt denken, welche allein ganz dieselbe Wirkung hervorbringt, wie die einzelnen Kräfte (*Seitenkräfte*) zusammengenommen.

Die Richtung und Größe der Mittelkraft hängt davon ab, welche Richtung und Größe die Seitenkräfte haben. Sollen z. B. 2 Zugkräfte, die in *gleicher* Richtung einen Wagen fortziehen, durch eine einzige Kraft ersetzt und soll der Wagen ebenso schnell bewegt werden, so muß diese Kraft, wenn sie auf den Wagen in derselben Richtung wie jene Kräfte einwirkt, so stark sein als jene beiden Zugkräfte zusammengenommen. Ein Kahn (m, Fig. 68), der durch Rudern in der Richtung der Strömung fortbewegt wird, kann denselben Weg (ad) auf ruhigem Wasser in gleicher Zeit nur dann zurücklegen, wenn die Ruderkraft (P) um die Kraft der Strömung ($P_1$) größer ist als vorher.

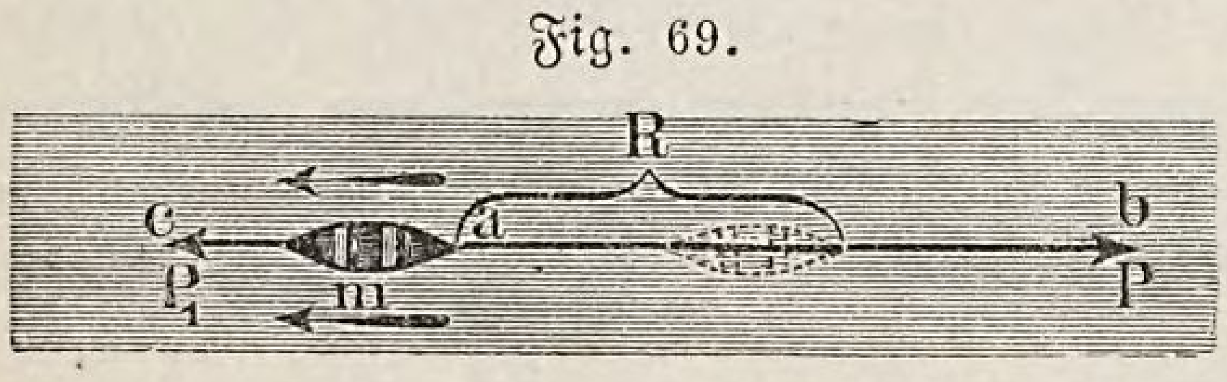
Fig. 68.




Kräfte, welche in gleicher Richtung auf einen Körper wirken, können durch eine ebenso gerichtete Kraft ersetzt werden, deren Größe der *Summe* der Einzelkräfte gleich ist.

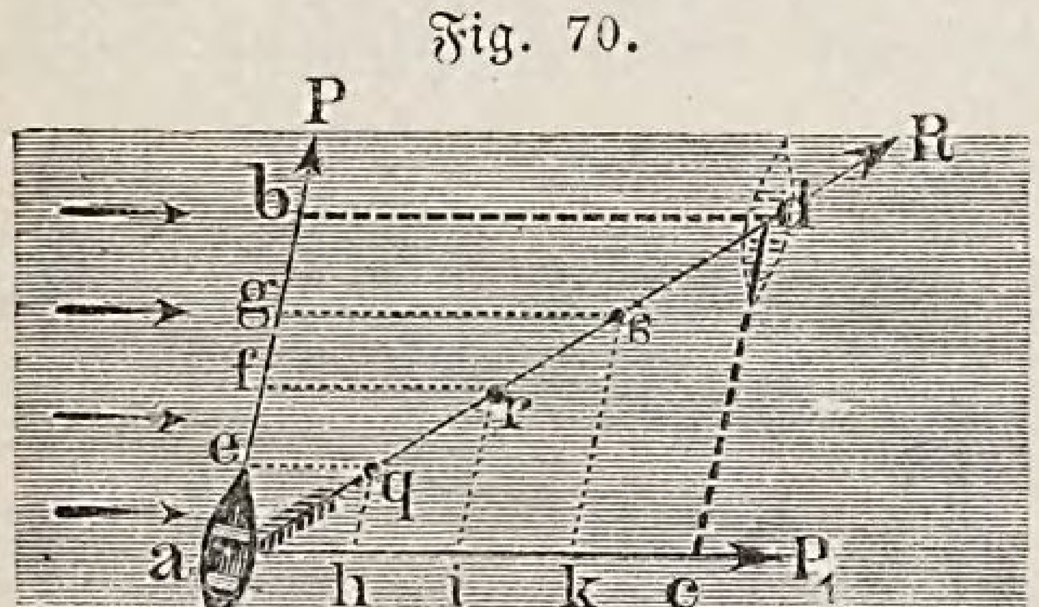
Wirken 2 Kräfte in *gerade entgegengesetzter Richtung* auf einen Körper ein, wirkt z. B. die Ruderkraft der Strömung gerade entgegen (Fig. 69), so erfolgt eine Bewegung in der Richtung der größeren Kraft. In dieser Richtung muß die Ruderkraft auch dann wirken, wenn sie jene beiden Kräfte ersetzen soll; sie kann aber, wenn der Kahn in derselben Zeit um die gleiche Strecke ad auf ruhigem Wasser fortbewegt werden soll, um die Kraft der Strömung kleiner sein.

Fig. 69.




Zwei Kräfte, welche einander gerade entgegenwirken, können durch eine in der Richtung der größeren wirkende Kraft ersetzt werden, deren Größe gleich dem *Unterschiede* der beiden Kräfte ist.

Fig. 70.




Wirkten die beiden Kräfte (Fig. 70) *unter einem Winkel* auf den Kahn ein, so würde sich der Kahn weder in der

einen, noch in der anderen Richtung bewegen. Statt nach b zu gelangen, würde er offenbar in einem Punkte ankommen, der von b um ac in der Richtung der Strömung entfernt ist, also in dem Schnittpunkte d der beiden von b und c zu ac und ab gezogenen Parallelen oder — was dasselbe ist — in der dem Ausgangspunkte a gegenüberliegenden Ecke d des Parallelogramms abcd.

Legt der Kahn, durch jede Kraft allein getrieben, beide Wege (ab und ac) mit gleichmäßiger Geschwindigkeit zurück, so gelangt er beim Zusammenwirken beider Kräfte auf geradem Wege von a nach d. Sovielmal nun dieser Weg länger ist als der Weg ab, ebensovielmal größer als die Ruderkraft muß auch die Kraft (Mittelkraft) sein, die den Kahn ohne Strömung von a nach d treiben soll. Denn die Länge der vom Kahn zurückgelegten Wege giebt uns die Größe der Wirkungen der beiden Kräfte an; wie sich aber die Wirkungsgrößen zweier Kräfte verhalten, so müssen sich auch die Kräfte selbst hinsichtlich ihrer Stärke zu einander verhalten.

Wirken 2 Kräfte unter einem Winkel gleichzeitig auf einen Körper ein, so wird die Richtung und Stärke ihrer Mittelkraft durch die Diagonale eines Parallelogramms dargestellt, dessen Seiten die Richtung und Stärke der Seitenkräfte ausdrücken: **Parallelogramm der Kräfte.**

Sieht man davon ab, daß die von einem Körper in gleichen Zeiten zurückgelegten Wege zugleich ein Maß für die Kräfte bilden, so hat man das aus den Wegen erhaltene Parallelogramm nur als **Parallelogramm der Bewegungen** zu bezeichnen.

---

**Übungsstoff.** 1. Ein Kahn lege durch die Kraft des Ruderns allein in 1 Minute 60 m zurück, durch die Strömung allein 20 m. Welches ist der Weg, wenn beide Kräfte a. in gleicher, b. in gerade entgegengesetzter Richtung wirken? — 2. Nach welcher Richtung wird ein Vogel getrieben, der bei Westwind nach Norden fliegt, wenn die Geschw. des Windes ebenso groß ist als die Geschw., welche die Flugkraft dem Vogel erteilt? — 3. Vom Mastbaum eines fahrenden Schiffes falle ein Stein herab. Welche Richtung muß er nach dem Parallelogramm der Kräfte einschlagen? — 4. Welche Richtung in Bezug auf die Schienen hat der Weg, den eine quer durch einen im Fahren begriffenen Eisenbahnwagen gerollte Kugel zurücklegt? — 5. Wie würde sich der Weg, den der Kahn (Fig. 70) zurücklegt, ändern, wenn anfangs gleichmäßig, darauf aber a. immer stärker, b. immer schwächer gerudert würde? — 6. Wie ferner, wenn bei gleichmäßigem Rudern der Kahn nach einiger Zeit in eine stärkere Strömung käme? — 7. Zwei Kräfte, von denen die eine 40, die andere 30 kg betrage, wirken a. in derselben, b. in gerade entgegengesetzter Richtung auf einen K.; wie groß ist die Mittelkraft? — 8. Von zwei gleich gerichteten Kräften, die in demselben Punkte wirken, sei die eine doppelt so groß als die andere, ihre Mittelkraft sei 60 kg; wie groß ist jede Seitenkraft? — 9. Wie ändert sich die Größe der Mittelkraft zweier auf einen Punkt wirkenden Kräfte, wenn letztere zunächst gleich gerichtet sind, darauf aber ihre gegenseitige Richtung so ändern, daß sie schließlich entgegengesetzte Richtungen haben? — 10. Welchen Druck erleiden die Drehungsachsen der in Fig. 53 dargestellten Hebel durch die an letzteren wirkenden Gewichte?

---

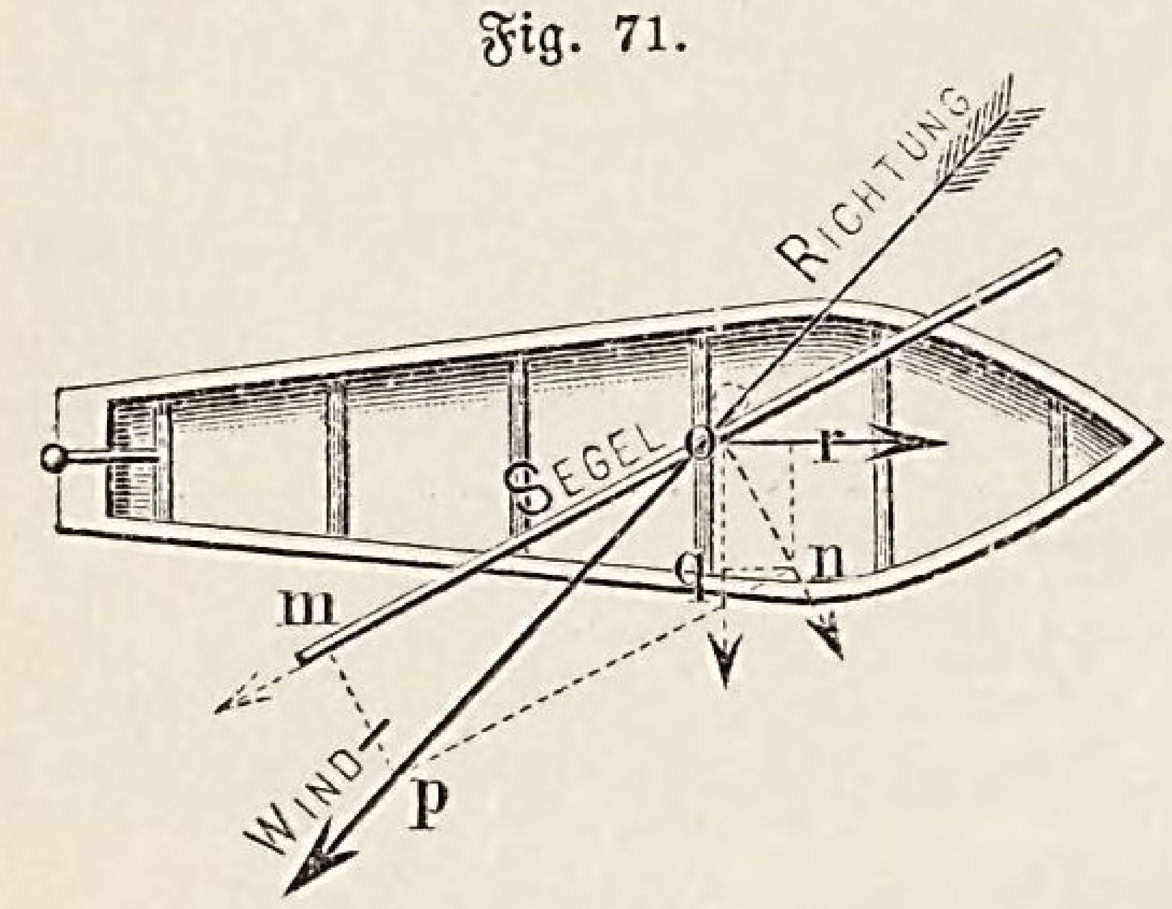
**§ 21*. Zerlegung der Kräfte.** Wie für 2 oder mehrere Kräfte eine Mittelkraft gefunden werden kann, so läßt sich auch eine gegebene Kraft in Seitenkräfte zerlegen. Dies geschieht am einfachsten, wenn die gesuchten Kräfte in gleicher oder gerade entgegengesetzter Richtung wirken sollen (warum?). Soll eine Kraft durch 2 unter einem Winkel wirkende Kräfte ersetzt werden, deren Richtungen gegeben sind, so findet man die Größen dieser Seitenkräfte, indem man die gegebene Kraftlinie, z. B. ad (Fig 70), als Diagonale eines Parallelogramms ansieht, in welchem die vom Angriffspunkte der Kraft ausgehenden Seiten mit den Seitenkräften gleiche Richtung haben. Ist eine der beiden Seitenkräfte ihrer Richtung und Größe nach bekannt, legte z. B. der Kahn durch die Strömung allein den Weg ac

zurück, so erhält man die Richtung und Größe der anderen Seitenkraft, wenn man c mit d verbindet und das Dreieck acd zum Parallelogramme abcd vervollständigt.

Eine Kraft wird in zwei einen Winkel einschließende Seitenkräfte zerlegt, indem man ein Parallelogramm zeichnet, in welchem die Diagonale die gegebene Kraft bedeutet und die anstoßenden Seiten die zu suchenden Kräfte darstellen.

In manchen Fällen muß man eine Kraft, um über ihre Wirkung ein richtiges Urteil zu erhalten, zweimal zerlegen. So erklärt sich z. B. die Fortbewegung eines Segelbootes (Fig. 71), dessen Segel vom Winde unter einem spitzen Winkel getroffen wird, wenn man 1. die durch op dargestellte Kraft des Windes in die beiden Seitenkräfte om und on zerlegt, von denen die erstere so angenommen ist, daß sie in der Richtung des Segels wirkt, also gar keine Bewegung hervorrufen kann, die andere dagegen so, daß sie rechtwinklig auf das Segel einwirkt, 2. die Seitenkraft on wieder in die beiden Seitenkräfte oq und or zerlegt, von denen oq wiederum so gewählt ist, daß sie (wegen des vom Wasser geleisteten Widerstandes) keine Bewegung hervorbringen kann, or dagegen parallel dem Kiele des Bootes gerichtet ist.

Fig. 71.

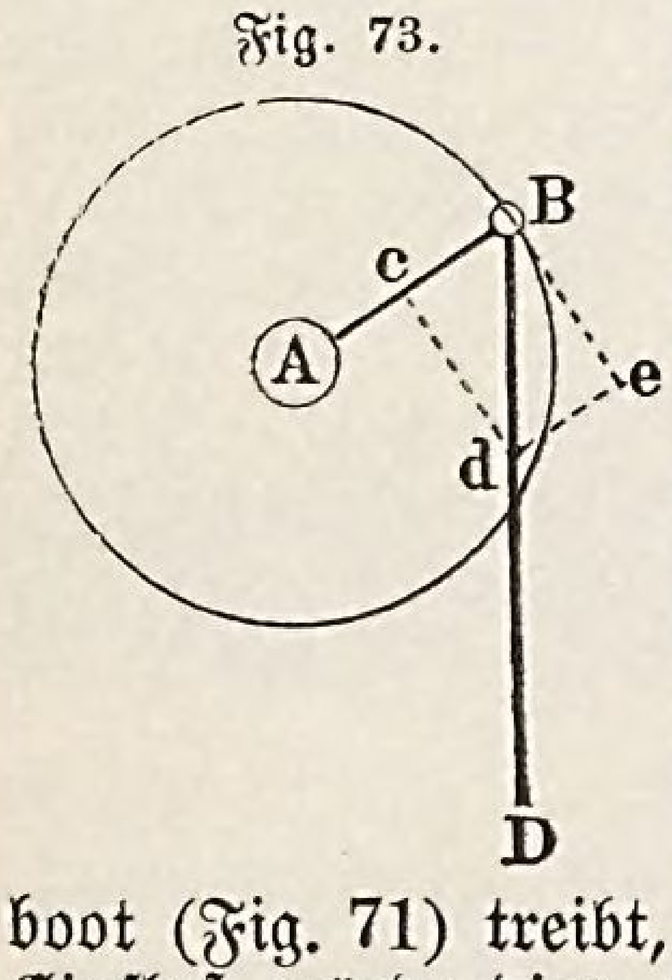



**Übungsstoff.** 1. An einem Schlitten ist die Zuglinie gewöhnlich schräg nach oben gerichtet (Fig. 72). Dies hat zur Folge, daß die Zugkraft nicht in ihrer vollen Größe als nach vorn bewegende Kraft zur Wirkung kommt, sondern daß sie den Schlitten zugleich um so stärker zu heben strebt, je steiler die Zugrichtung ist. Wie läßt sich durch eine Zeichnung die Zugkraft in zwei Seitenkräfte zerlegen, von denen die eine mit dem Boden gleich gerichtet, die andere senkrecht zu ihm gerichtet ist? — 2. Ein Schlitten werde fortgeschoben. Die Schubrichtung gehe schräg von oben nach unten. Inwiefern wird hierbei nur ein Teil der Kraft zur Fortbewegung des Schlittens verwendet? Zeichnung! — 3. Hat ein Pferd mehr oder weniger Kraft nötig, wenn es einen Eisenbahnwagen fortzieht und dabei zwischen den beiden Schienen oder daneben geht? — 4. Versuche das Steigen eines Papierdrachens durch die Zerlegung der Kräfte zu erklären. Zeichnung! — 5. Ein angehauener Baum soll vermittelst eines Seiles umgeworfen werden. Welchen Einfluß hat hierbei a. die Höhe, in der das Seil befestigt ist, b. der Winkel, den das Seil mit dem Baume bildet? — 6. AB, Fig. 73, stelle eine Kurbel dar, mit der die Zugstange BD zur Drehung der Welle A durch ein Gelenk verbunden sei. a. Es soll zunächst für die dargestellte Lage der Kurbel das Verhältnis angegeben werden, in dem der auf die Kurbel ausgeübte Zug zu der drehenden Wirkung, sowie zu dem Drucke steht, den die Welle in der Richtung der Kurbel erleidet. b. Ferner ist durch Zeichnung zu ermitteln, wie sich jenes Verhältnis bei einer Drehung der Kurbel ändert. — 7. Bei welchen beiden Kurbelstellungen kann mittelst der Stange BD keine Drehung bewirkt werden, u. w.? (Tote Punkte.) — 8. Man stelle sich vor, der Wind, der das Segelboot (Fig. 71) treibt, drehe sich ein wenig und zwar a. nach links, b. nach rechts. Welchen Einfluß würde dies auf die Größe aller Seitenkräfte ausüben, wenn op sich gleich bleibt (die Stärke des Windes sich also nicht ändert)?

Fig. 72.



Fig. 73.



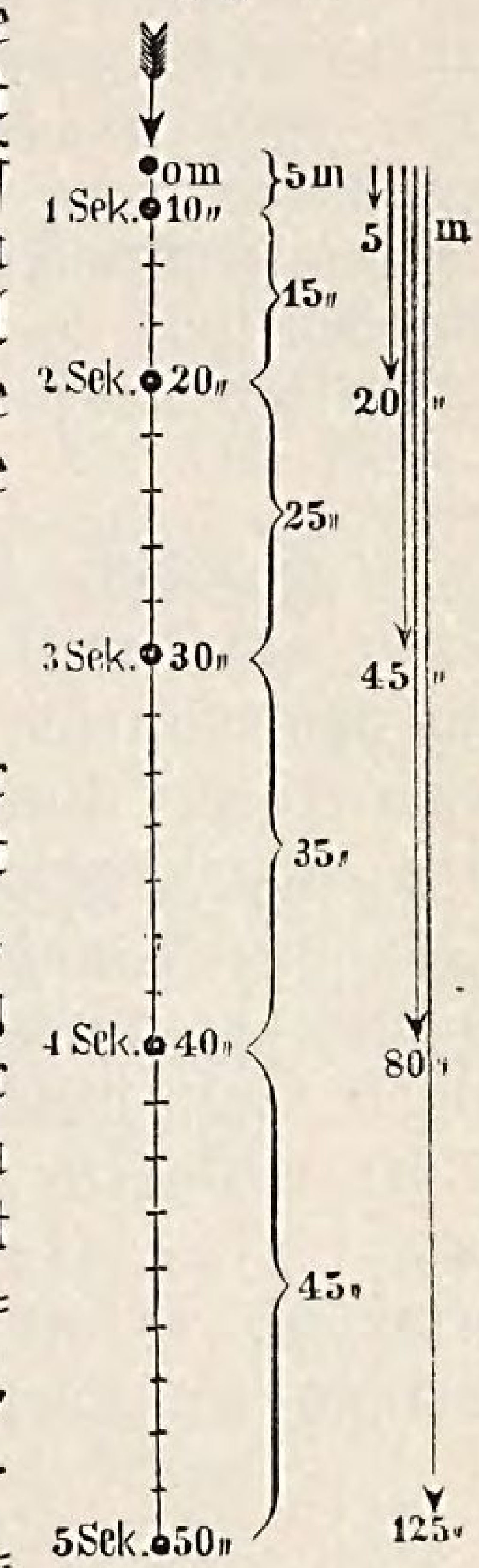

## Besondere Bewegungen.

**§ 22*. Der freie Fall.** Der Fall der Körper ist eine Wirkung der Schwerkraft (§ 4). Ein Stein oder eine Metallkugel fällt gewöhnlich schneller als eine Feder oder ein Papierschnitzelchen. Dies erklärt sich aus dem Wider-

stande der Luft. Denn legt man z. B. ein Papierschnitzelchen auf ein wagerecht gehaltenes Geldstück, und läßt dann beide zugleich fallen, so kommen sie auch gleichzeitig unten an. Der fallende Körper muß nämlich die Luft vor sich her verdrängen. Dies kann ein Stein oder eine Münze leichter als eine Feder oder ein Papierschnitzelchen. Verdrängt nun die fallende Münze die Luft vor sich her, so kann das darauf liegende Papierschnitzelchen ungehindert nachfolgen. — Läßt man 2 Körper von sehr ungleicher Beschaffenheit, etwa eine Bleikugel und ein Papierschnitzelchen, in einer Glasröhre, in der man die Luft möglichst stark verdünnt hat, zugleich fallen, so kommen beide fast gleichzeitig unten an. Dies führt zu dem Schlusse:

Im luftleeren Raume fallen alle Körper gleichschnell.

Fig. 74.




Im luftleeren Raume fällt jeder Körper in der 1. Sekunde nahezu **5 m** tief; seine Geschwindigkeit nimmt dabei zu und ist nach einer Sekunde so groß, daß der Körper in jeder folgenden Sekunde einen Weg von **10 m** zurücklegen würde, wenn die Erde ihn gar nicht weiter anzöge (Endgeschwindigkeit der 1. Sekunde). Da aber die Erdanziehung auf den fallenden Körper andauernd mit gleicher Stärke einwirkt, so muß die Fallgeschwindigkeit gleichmäßig zunehmen, also nach 2, 3, 4... Sekunden auch 2-, 3-, 4...mal so groß sein als nach der 1. Sekunde (siehe Fig. 74).

Die Bewegung eines frei fallenden Körpers ist eine gleichmäßig beschleunigte, d. h. die Endgeschwindigkeiten der einzelnen Sekunden wachsen wie die Fallzeiten.

Die von einem frei fallenden Körper zurückgelegten Wege müssen somit in jeder folgenden Sekunde 10 m größer sein als in der unmittelbar vorhergehenden, in der 2. Sek. also (5 + 10) m, in der 3. Sek. (15 + 10) m, in der 4. Sek. (25 + 10) m u. s. w. (in Fig. 74 hinter den Klammern angegeben). Zählt man die einzelnen Wegstrecken zusammen, so erhält man die ganzen Fallräume, d. h. die Strecken, die der Körper in 1, 2, 3, 4... Sekunden zurückgelegt hat (in der Figur durch die rechts gezeichneten Pfeile angegeben). Hieraus folgt:

Beim freien Falle wachsen die Fallräume der einzelnen Sekunden wie die ungeraden Zahlen, die ganzen Fallräume wie die Quadratzahlen der Fallzeiten.

Ein Körper, der den Widerstand der Luft leicht überwinden kann, fällt mit einer Geschwindigkeit, die der angegebenen beinahe gleich ist. Auch im Wasser fallen die Körper ungleichschnell, und zwar im allgemeinen mit zunehmender Geschwindigkeit. Feine Sandkörnchen sinken in einem Gewässer nicht so schnell zu Boden als schwere Steine. Daher können sie von einem fließenden Gewässer bedeutend weiter fortgeführt werden, woraus sich die bekannte Erscheinung erklärt, daß Flüsse, wenn sie über ihre Ufer treten, Sand oder Schlamm absetzen.

Fig. 75.



---

**Übungsstoff.** 1. Warum fallen Schneeflocken und Hagelkörner a. nicht gleichschnell, b. nicht immer senkrecht? — 2. Die Wucht, mit der ein fallender K. unten aufschlägt, ist von der Fallhöhe abhängig; inwiefern? — 3. Wie werden sich die Fallgeschwindigkeiten im leeren Raume, in der Luft und im W. zu einander verhalten? — 4. In welcher Beziehung müssen in allen drei Fällen die Fallbewegungen im allgemeinen übereinstimmen? — 5. Wenn man eine senkrecht gehaltene Schnur (Fig. 75), deren unteres Ende den Boden berührt, und an der 4 Bleikugeln so befestigt sind, daß ihre Abstände vom Boden 20, 80, 180 und 320 cm betragen,

mit den Kugeln frei fallen läßt, so hört man die letzteren in kurzen, gleichen Zeitabschnitten nacheinander aufschlagen. Erkl.! — 6. Ein Stein falle von einem hohen Turme herab und treffe nach 4 Sek. den Boden. Wie hoch ist dann der Turm annähernd? — 7. Wie läßt sich hiernach annähernd ermitteln, wie tief ein Brunnen ist? — 8. Wie erklärt es sich, daß die Gesteinsmassen, die ein Fluß mit sich führt, um so feiner (schlammiger oder sandiger) sind, je weiter das Wasser schon geflossen ist? — 9. Um die aus den Bergwerken gewonnenen Erze zu reinigen, d. h. um sie von den daran haftenden Gesteinsmassen zu trennen, zerkleinert man sie und läßt darauf W. in langen Rinnen darüber hinwegfließen. Das W. spült die nicht metallischen Mineralteile weiter fort, als die Erzstückchen. Wie erklärt sich dies?

---

**§ 23*. Senkrechter Wurf.** Während beim freien Falle nur eine Kraft auf den Körper einwirkt, sind die Wurfbewegungen ein Ergebnis von dem Zusammenwirken zweier Kräfte. Die einzelnen Bewegungen, zu denen ein geworfener Körper durch den Wurf und die Schwerkraft angeregt wird, bilden entweder eine einzige gerade Linie (senkrechter Wurf), oder sie schließen einen Winkel ein (wagerechter und schiefer Wurf). Wird der Körper senkrecht aufwärts geworfen, so wirkt die Schwerkraft der Wurfkraft gerade entgegen. Die Geschwindigkeit, mit welcher der Körper aufsteigt, muß daher in jeder folgenden Sekunde seiner aufwärts gerichteten Bewegung um 10 m abnehmen: die Bewegung ist somit eine gleichmäßig verzögerte. Wird ein Körper senkrecht abwärts geworfen, so vergrößert sich seine Geschwindigkeit durch die Schwerkraft in jeder Sekunde um 10 m: die Bewegung ist also eine gleichmäßig beschleunigte.

**Beispiel zum senkrecht aufwärts gerichteten Wurfe.**

a. Geschwindigkeiten.

| beim Steigen: (Von unten zu lesen.) | beim Fallen: (Von oben zu lesen.) |
|---|---|
| „ „ „ 5. „ 50—5.10 = 0 „ ↑ | Anfangsgeschwindigkeit ....... 0 m ↓ |
| „ „ „ 4. „ 50—4.10 = 10 „ | Geschw. nach der 1. Sek....... 10 „ |
| „ „ „ 3. „ 50—3.10 = 20 „ | „ „ „ 2. „ ...... 20 „ |
| „ „ „ 2. „ 50—2.10 = 30 „ | „ „ „ 3. „ ...... 30 „ |
| Geschw. nach der 1. Sek. 50—1.10 = 40 „ | „ „ „ 4. „ ...... 40 „ |
| Anfangsgeschwindigkeit ....... 50 m ↑ | „ „ „ 5. „ ...... 50 „ ↓ |

Die Geschwindigkeit eines senkrecht geworfenen Körpers nimmt beim abwärts gerichteten Wurfe um ebensoviel zu, beim aufwärts gerichteten Wurfe während des Steigens um ebensoviel ab, als sie beim freien Falle in der gleichen Zeit zunimmt.

b. Höhen und Fallräume.

| (Von unten zu lesen.) | (Von oben zu lesen.) |
|---|---|
| „ „ „ „ „ 5. „ 50—9.5 = 5 „ ↑ | Der K. fällt in der 1. Sek. 1.5 = 5 m ↓ |
| „ „ „ „ „ 4. „ 50—7.5 = 15 „ | „ „ „ „ „ 2. „ 3.5 = 15 „ |
| „ „ „ „ „ 3. „ 50—5.5 = 25 „ | „ „ „ „ „ 3. „ 5.5 = 25 „ |
| „ „ „ „ „ 2. „ 50—3.5 = 35 „ | „ „ „ „ „ 4. „ 7.5 = 35 „ |
| Der K. steigt in der 1. Sek. 50—1.5 = 45 m ↑ | „ „ „ „ „ 5. „ 9.5 = 45 „ ↓ |

Ein senkrecht aufwärts geworfener Körper steigt ebenso lange als er fällt, und ebenso hoch, als der Fallraum eines frei fallenden Körpers in der gleichen Zeit beträgt.

---

**Übungsstoff.** 1. Angenommen, die Erde zöge die auf ihr befindlichen Körper a. stärker, b. nicht so stark an, als es in Wirklichkeit der Fall ist; welchen Einfluß würde dies auf die Größe des Weges ausüben, den ein frei fallender K. in einer bestimmten Zeit

zurücklegt? — 2. Welchen Einfluß ferner auf die Steighöhe eines senkrecht aufwärts geworfenen K.? — 3. Inwiefern liegt den obigen Angaben über die Geschwindigkeiten eines senkrecht aufsteigenden K. das Gesetz des Beharrungsvermögens zu Grunde? — 4. Wodurch ist der Bewegung a. eines senkrecht aufwärts geworfenen K., b. eines senkrecht abwärts geworfenen K. ein Ziel gesetzt? — 5. In welcher Richtung wirken dabei die beiden Kräfte auf den K. ein? — 6. Eine Spitzkugel steigt in der Luft höher als eine gewöhnliche Kugel von gleichem Gewichte, wenn die treibenden Kräfte gleich sind. Erkl.! — 7. Welche Geschw. hat eine senkrecht aufwärts geschossene Kugel nach 10 Sek., wenn ihre Wurfgeschw. 300 m beträgt? — 8. Nach wv. Sek. wird ihre Geschw. gleich Null sein? — 9. Wie lange wird demnach die Kugel steigen und fallen? — 10. Wie groß ist die Geschw. der Kugel auf dem Rückwege, 5 Sek. vor dem Aufschlagen auf den Boden? — 11. Wie hoch steigt die Kugel? — 12. Ein Stein werde von einem Turme senkrecht abwärts geworfen und erhalte durch die Wurfkraft eine Geschw. von 5 m. Wie groß ist seine Geschw. nach 5 Sek.? (Genügende Höhe des Turmes vorausgesetzt.)

---

**§ 24*. Wagerechter und schiefer Wurf.** a. Wird eine Kugel in wagerechter oder schräger Richtung abgeschossen, ein Stein in der einen oder anderen Richtung geworfen (Fig. 76 und 77), so würde sich der bewegte Körper, wenn keine andere Kraft auf ihn einwirkte, infolge des Beharrungsvermögens unaufhörlich fortbewegen, ohne seine Richtung und Geschwindigkeit zu ändern (ab = cb = cd u. s. f.). Da der Körper jedoch der Wirkung der Schwerkraft unterliegt, so sinkt er innerhalb der 1. Sek. um 5 m, in der 2. Sek. um 3 . 5 m, in der 3. Sek. um 5 . 5 m u. s. w. unter die Schuß- oder Wurflinie herab (siehe die beiden Figuren). Man erhält demnach den **Ort**, an dem der Körper nach Ablauf einer jeden Sekunde ankommt, wenn man durch die Punkte b, c, d u. s. w. abwärts senkrechte Linien zieht, deren Längen die Fallräume für die einzelnen Sekunden angeben, oder wenn man Parallelogramme zeichnet, in denen von 2 anstoßenden Seiten die eine Seite die Strecke angiebt, die der Körper unter der alleinigen Einwirkung der einen Kraft, die andere Seite aber die Strecken bezeichnet, die er unter der alleinigen Wirkung der anderen Kraft in 1, 2, 3 . . . Sekunden zurücklegen würde (Parallelogramme der Bewegungen). Der vom bewegten Körper zurückgelegte **Weg** ergiebt sich, indem man die erhaltenen Punkte verbindet und dabei berücksichtigt, daß der Körper auch während der einzelnen Sekunden immer schneller herabsinkt.

Fig. 76.

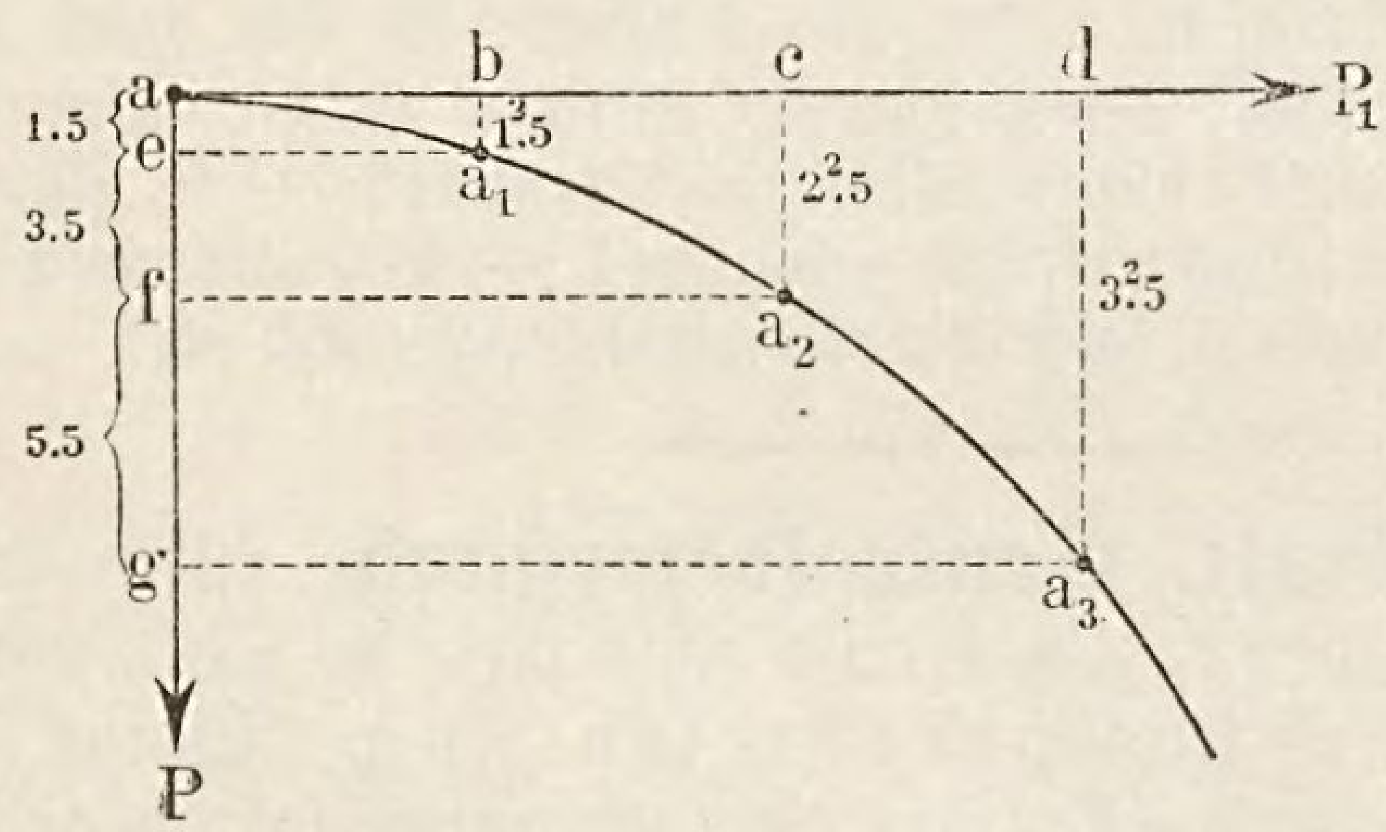
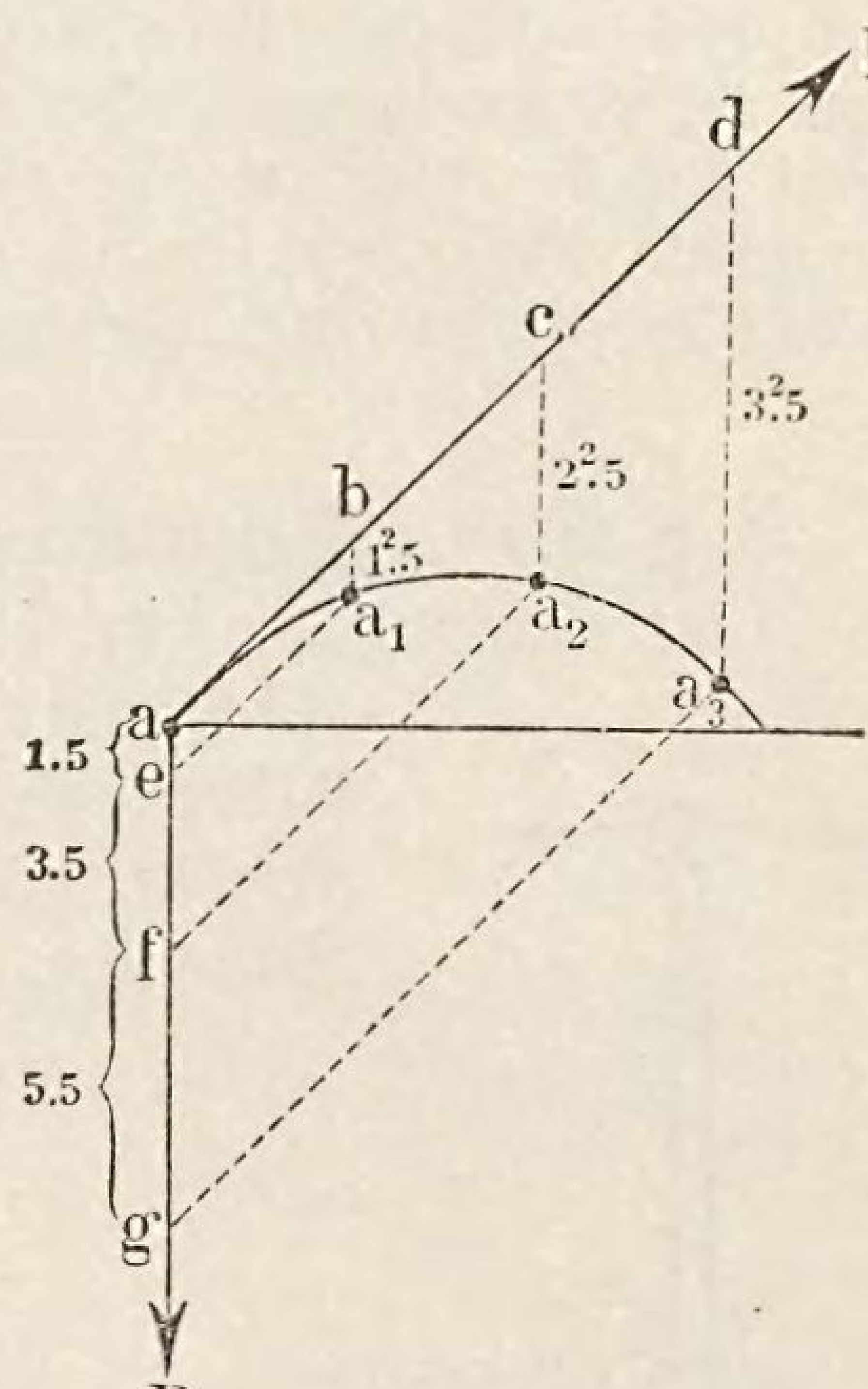


Fig. 77.

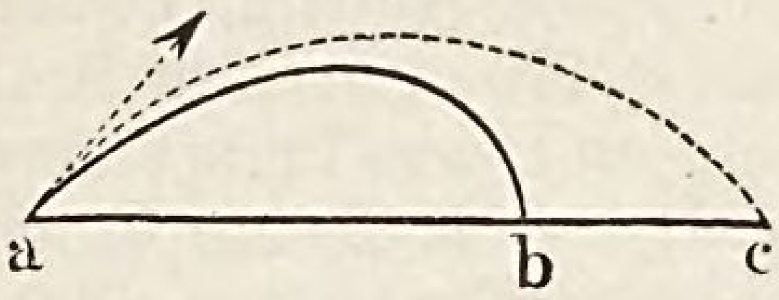


Die Bahn eines wagerecht oder schräg aufwärts geworfenen Körpers ist eine gesetzmäßig gekrümmte Linie.

Bei dieser Betrachtung wurde vorausgesetzt, daß die Luft keinen Widerstand leiste. Die Wurfbahn, welche sich für diesen Fall ergiebt, wird **Parabel** genannt. Beim schrägen Wurfe in der Luft ist der absteigende Teil der Bahn, namentlich wenn die zurückgelegte Strecke sehr groß ist, mit dem aufsteigenden Teile nicht symmetrisch, sondern stärker ge-

krümmt (Fig. 78), wie dies ein schräg aufsteigender und dann herabfallender Wasserstrahl, z. B. einer Feuerspritze, veranschaulicht.

Fig. 78.




Bei Geschossen übt sowohl deren Form, als auch die Art ihrer Bewegung einen Einfluß auf die Gestalt der Flugbahn aus (Achsendrehung der Spitzkugeln gezogener Geschütze). Die genaue Kenntnis der Flugbahn der Geschosse ist besonders für die Artillerie sehr wichtig.

---

**Übungsstoff.** **1.** Welchen Einfluß müßte es auf die Stärke der Krümmung der Bahn (Fig. 76) ausüben, wenn die Wurfkraft a. größer, b. kleiner wäre? — **2.** Ferner, wenn die Erdanziehung a. stärker, b. weniger stark wäre? — **3.** Welchen Einfluß ferner, wenn die Schußrichtung (Fig. 77) a. steiler, b. nicht so steil wäre, die Geschw. aber, welche die Kugel durch die Pulverkraft erlangt, dieselbe bliebe? — **4.** Man denke sich, die Schußlinie (Fig. 77) werde a. bis zur senkrechten Richtung immer steiler, b. bis zur wagerechten Richtung immer flacher, indem man sich a d als eine um a drehbare Linie vorstellt. Welche von den angegebenen Punkten werden dann ihre Lage beibehalten, und welche nicht? — **5.** Welchen Einfluß übt bei gleicher Richtung des Mundstückes die Kraft, mit der eine Feuerspritze in Thätigkeit gesetzt wird, auf Länge und Gestalt des Strahles aus? — **6.** Vergl. die Bahn einer horizontal oder schräg abgeschossenen Kugel mit der Richtung der Achse des Geschützes. — **7.** Nach wv. Sek. ist eine schräg aufwärts geschossene Kugel 20 m unter die Schußlinie herabgesunken? — **8.** Eine Kugel werde mit einer Anfangsgeschw. von 300 m schräg aufwärts geschossen. Wv. Meter würde sie sich dann nach 4 Sekunden von ihrem Ausgangspunkte in der Schußrichtung entfernt haben, wenn die Schwerkraft nicht auf sie einwirkte und die Luft keinen Widerstand leistete? — **9.** Um wv. ist die Kugel innerhalb dieser Zeit durch die Schwerkraft gesunken? — **10.** In welchen beiden Fällen weicht die Bahn eines geworfenen K. von der Wurfrichtung nicht ab?

---

**§ 25*. Schwungkraft. Centralbewegung.** Wenn man einen Stein in einer Schleuder (Fig. 79) rasch im Kreise schwingt, so fühlt man in der Hand einen nach außen gerichteten Zug. Dünne Fäden zerreißen dabei leicht, Gummischnüre oder schraubenförmig gewundene Drähte strecken sich. — Läßt man eine von den beiden Schnüren der Schleuder plötzlich los, so fliegt der Stein in der Richtung fort, die er im Augenblicke des Freiwerdens hat, d. h. also in der Richtung einer Berührungslinie oder Tangente an dem bis dahin zurückgelegten Kreiswege.

Fig. 79.

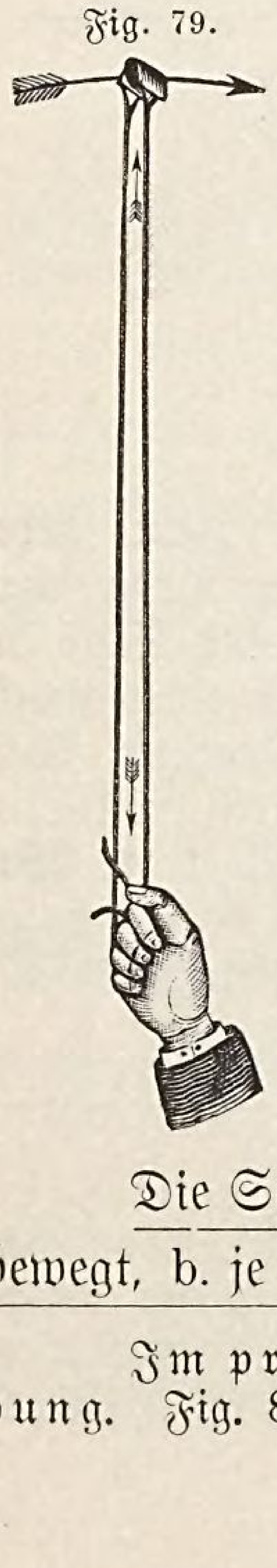
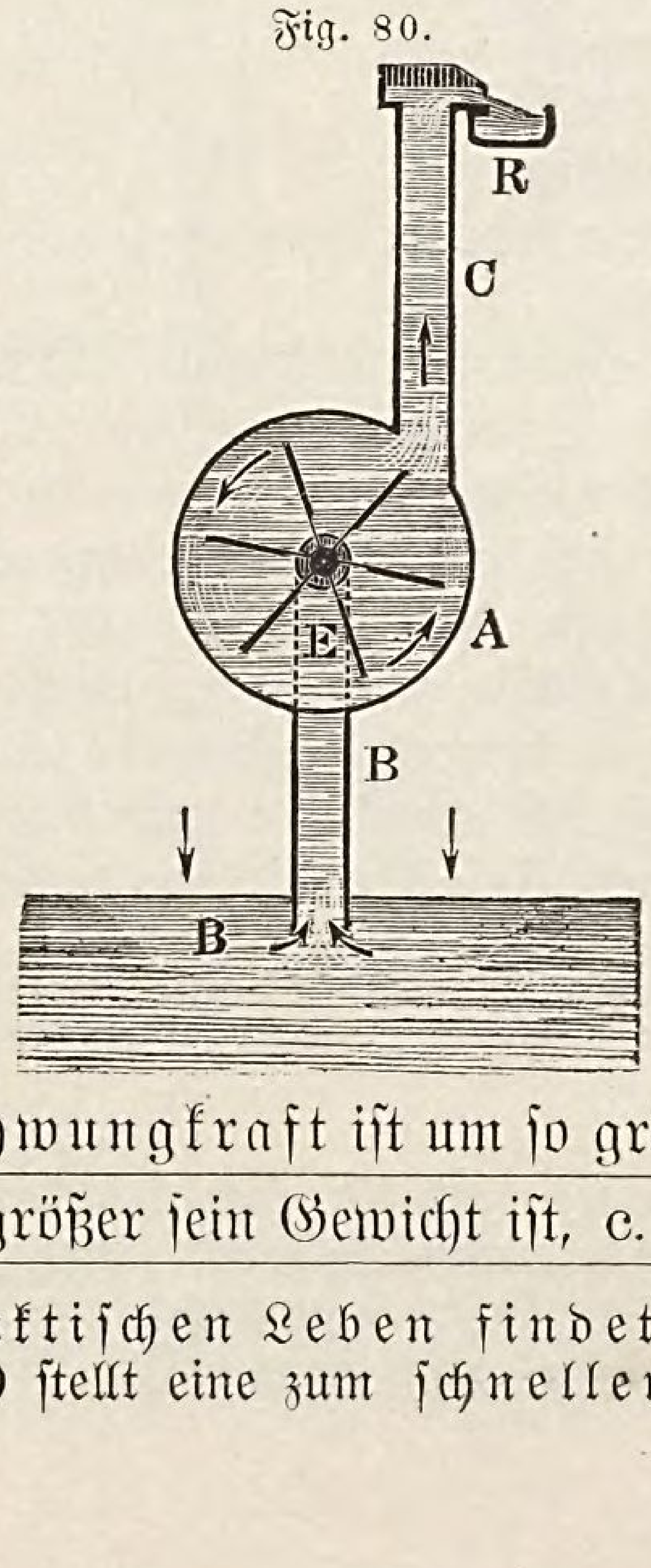


Fig. 80.




Ein im Kreise bewegter Körper setzt der Kraft, die ihn in der Kreisbahn zu erhalten sucht, einen Beharrungswiderstand entgegen; indem der Stein z. B. in der geradlinigen Richtung bleiben will, übt er eine Rückwirkung auf die bewegende Hand aus, die sich als Zug nach außen äußert.

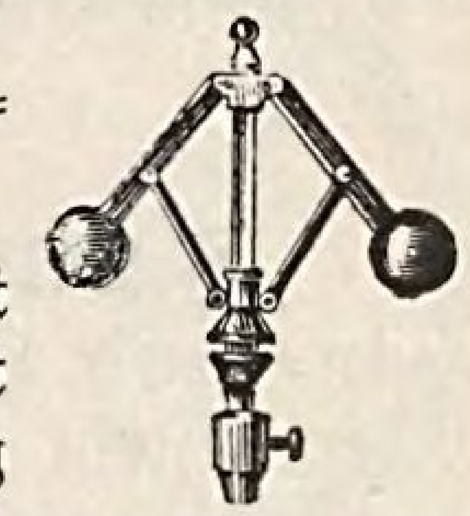
Die Gegenwirkung, welche ein im Kreise bewegter Körper ausübt, wird als **Schwungkraft** (Centrifugalkraft) bezeichnet. Die Erfahrung lehrt:

<u>Die Schwungkraft ist um so größer, a. je schneller sich der Körper im Kreise bewegt, b. je größer sein Gewicht ist, c. je länger der Halbmesser der Kreisbahn ist.</u>

Im praktischen Leben findet die Schwungkraft vielfache Anwendung. Fig. 80 stellt eine zum schnellen Heben von Wasser dienende **Centri-**

**fugalpumpe** dar, die dadurch wirkt, daß in einem kapselförmigen eisernen Gehäuse ein kleines Schaufelrad (gewöhnlich durch eine Dampfmaschine) in sehr schnelle Umdrehung versetzt wird, wodurch die Luft aus dem seitlich einmündenden Saugrohre (B) entweicht. Dies hat zur Folge, daß das Wasser in das Gehäuse eindringt, wo es von den Schaufeln erfaßt und im Steigrohre (C) hinaufgeworfen wird, aus dem es oben ausfließt. In Schmieden dienen derartige Einrichtungen zur Erzeugung eines kräftigen Luftstromes (**Ventilatoren**).

Fig. 81.

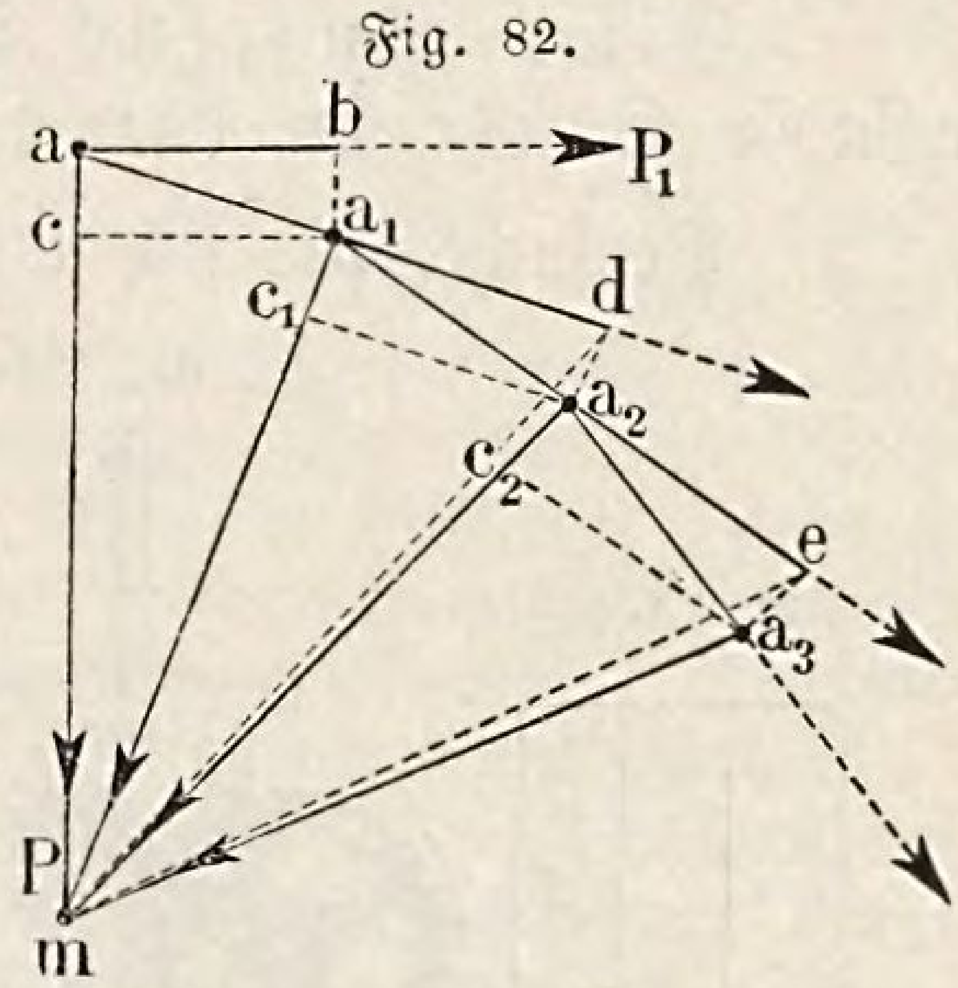


Bei Dampfmaschinen regelt man mittelst des **Centrifugal-Regulators** (Fig. 81) den Zutritt des Dampfes zum Cylinder.

In großen Färbereien und Waschanstalten wird die Schwungkraft auch wohl zum Trocknen des Zeuges angewandt. Zu diesem Zwecke legt man dasselbe in trommelförmige Behälter, deren Seitenwände siebartig durchlöchert sind, und versetzt diese Trommeln in sehr schnelle Umdrehung. Durch Schwungmaschinen läßt sich auch die Butter aus der Milch, die Stärke aus dem Gereibsel der Kartoffeln, der Honig aus den Waben gewinnen u. s. w.

Eine Bewegung um einen Anziehungsmittelpunkt entsteht in der Weise, daß ein geradlinig in Bewegung gesetzter Körper andauernd nach einem Punkte hingezogen wird, der außerhalb dieser Bewegungsrichtung liegt. Wäre z. B. (nach Fig. 82) in einem hohen Zimmer über dem Punkte m ein Lot aufgehängt und brächte man dasselbe in eine schräge Lage nach a, so hätte es infolge der Schwere das Bestreben, nach m zurückzufallen. Erhielte aber das Lot in a in der Richtung von a nach b einen Stoß, so würde es sich um den Punkt m herum bewegen, und zwar je nach der Stärke des Stoßes einen nahezu kreisförmigen oder einen mehr oder weniger von der Kreisform abweichenden Weg zurücklegen. Stellte z. B. ab den Weg dar, den der aufgehängte Körper bei freier Bewegung etwa in 1 Sekunde durch den Stoß allein, ac den Weg, den er durch die Anziehung allein zurücklegen würde, so würde der Körper nach 1 Sek. in $a_1$ als der dem Ausgangspunkte gegenüberliegenden Ecke des Parallelogramms der Bewegungen ankommen. In ähnlicher Weise erhält man die Endpunkte der Wege für die folgenden Sekunden. Da der Körper andauernd nach m zurückzufallen strebt, so folgt:

Fig. 82.




Wenn ein Körper, der das Bestreben hat, sich in bestimmter Richtung gleichförmig zu bewegen, von einem nicht in dieser Richtung liegenden Punkte aus beständig angezogen wird, so entsteht eine krummlinige Bewegung. Dieselbe wird **Centralbewegung** genannt.

Die Anziehungskraft, welche den bewegten Körper beständig von seiner Bewegungsrichtung ablenkt, heißt **Centripetalkraft** oder **Centralkraft**.

Die großartigsten Centralbewegungen sind die Bewegungen der Himmelskörper. Von besonderer Wichtigkeit sind die Bewegungen der Planeten um die Sonne als ihren Centralkörper und die Bewegungen der Monde um die Planeten als ihre Centralkörper. Die Anziehungskräfte der Sonne und der Planeten sind Centralkräfte.

---

**Übungsstoff. 1.** Ein mit W. gefüllter Eimer läßt sich im Kreise schleudern, ohne daß das W. ausfließt. Erkl.! — **2.** Warum fassen die Handwerker beim Gebrauche eines Hammers oder einer Axt den Stiel nahe am unteren Ende? — **3.** Welche Ersch. zeigt das am Schleifsteine haftende W., wenn dieser schnell gedreht wird? — **4.** Auf schmutzigen Straßen nimmt man an schnell fahrenden Fuhrwerken eine ähnliche Ersch. wahr; welche? —

5. Eine Centrifuge (eine wie ein Kreisel drehbare Blechtrommel) enthalte eine Mischung von Öl und Wasser. Wie werden sich die Flüssigkeiten bei schneller Umdrehung des Apparates ordnen? — 6. Warum liegen die äußeren Schienen einer Eisenbahn an Stellen, wo sich starke Biegungen befinden, höher als die inneren? — 7. Welche Richtung geben Schlittschuhläufer ihrem Körper, wenn sie einen Bogen beschreiben? — 8. Wie erklärt sich die Ersch., daß sich Kunstreiter an der nach dem Mittelpunkte der Bahn gerichteten Seite des galoppierenden Pferdes ohne festen Sitz hängend erhalten können?

---

**§ 26*. Pendelbewegung.** Als Pendelbewegung bezeichnet man die Hin- und Herbewegung, welche z. B. das Pendel einer Uhr ausführt. Sie entsteht dadurch, daß das in seiner Ruhelage senkrecht hängende Pendel etwa durch einen Stoß in eine schräge Lage gebracht und dann sich selbst überlassen wird. Das Pendel fällt dann zunächst in seine ursprüngliche Lage zurück, setzt aber infolge des Beharrungsvermögens seine Bewegung noch über die Gleichgewichtslage hinaus nach der anderen Seite hin fort und zwar so lange, bis die Wirkung der Schwerkraft wieder überwiegt. Diese bringt das Pendel in seine Gleichgewichtslage zurück, durch das Beharrungsvermögen geht es abermals über dieselbe hinaus u. s. f.

Eine einzelne Bewegung aus der äußersten Lage an der einen Seite in die an der anderen Seite heißt eine **Schwingung.**

Versuche, die sich mit Fadenpendeln (Fig. 83) anstellen lassen, deren Länge verschieden ist und deren Kügelchen aus verschiedenen Stoffen bestehen, führen zu folgenden Ergebnissen:

Fig. 84.

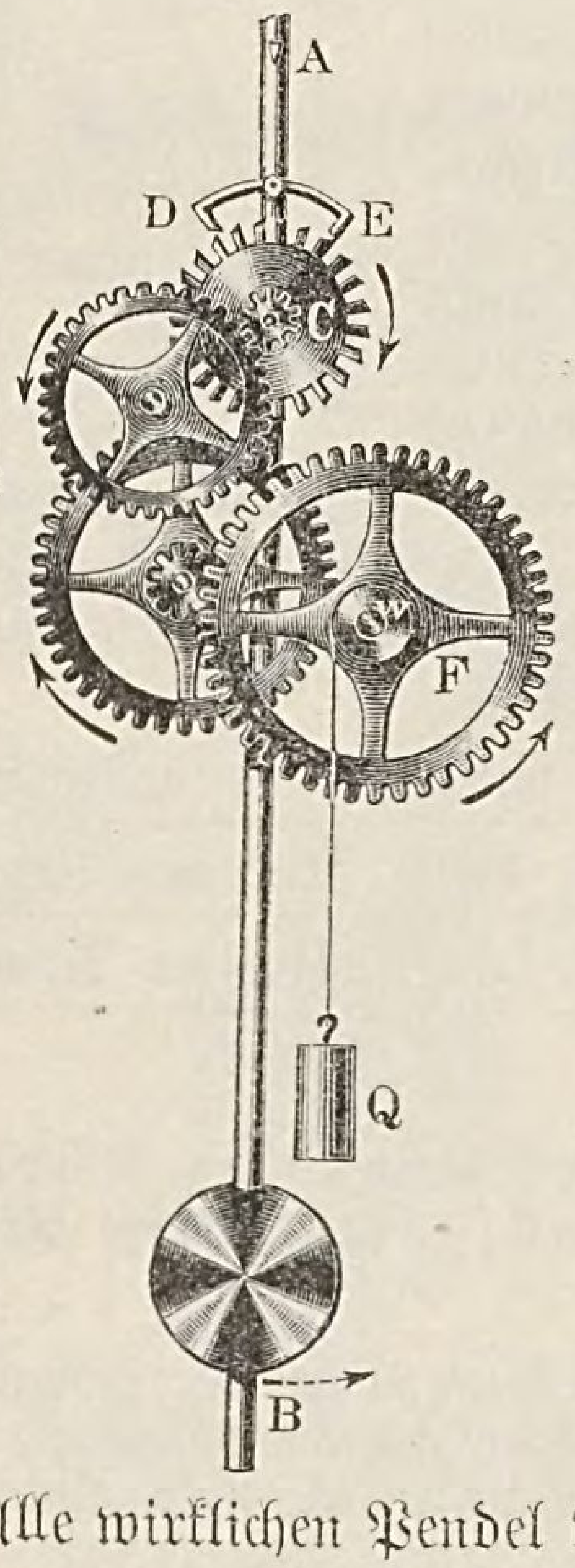
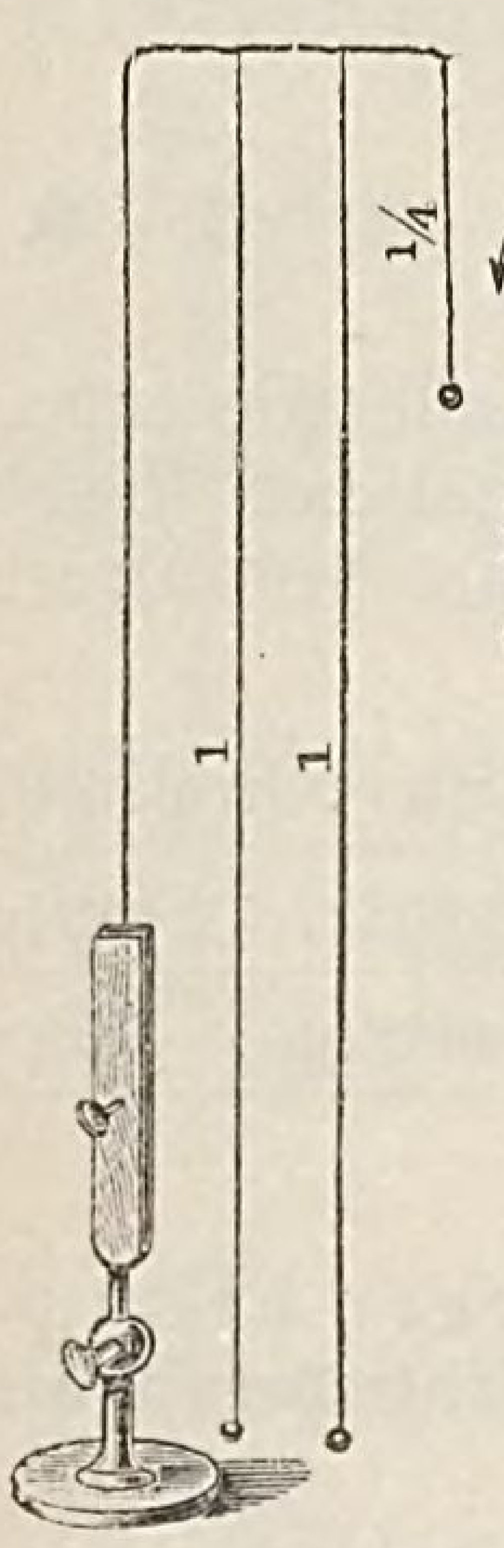



Fig. 83.




Die Ausschläge des Pendels erfolgen um so schneller, je kürzer das Pendel ist. Bei kleinen Ausschlägen macht ein Pendel, das 1 m lang ist, nahezu 1 Schwingung in 1 Sekunde.

Beispiel. Ist das eine Pendel $\frac{1}{4}$ oder $\frac{1}{9}$ so lang als das andere, so schwingt es doppelt oder 3mal so schnell als das andere.

Der Stoff, aus dem das Pendel besteht, übt keinen Einfluß auf die Schwingungsdauer aus.

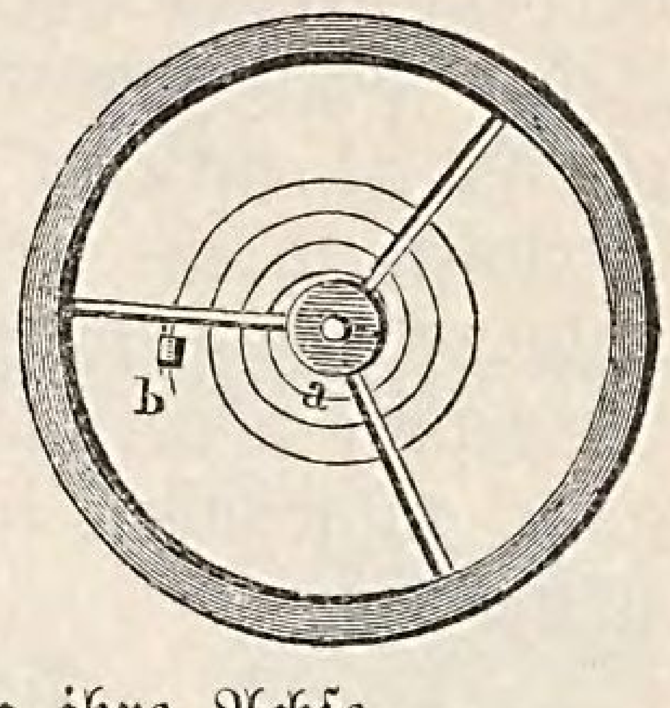
Da beim wirklichen Pendel (Fig. 83 und 84) jeder höher liegende Punkt desselben das Bestreben hat, schneller zu schwingen als jeder tiefer liegende, so kann man als **einfaches Pendel** nur ein solches Pendel bezeichnen, dessen Faden gewichtslos und dessen schwingender Körper als ein einziger schwingender Punkt gedacht wird. Alle wirklichen Pendel werden daher **zusammengesetzte Pendel** genannt.

Das zusammengesetzte Pendel findet im praktischen Leben etwa seit der Mitte des 17. Jahrhunderts eine wichtige Anwendung zur Regulierung des Ganges der Räderuhren. Die Bewegung des Räderwerkes wird bei diesen durch ein Gewichtstück oder eine Feder bewirkt und durch das Pendel gleichmäßig gemacht. Dies erfolgt dadurch, daß in die Zahnlücken des Steigrades (C, Fig. 84) die beiden hakenförmigen Enden eines Ankers (DE) eingreifen, der mit dem Pendel so verbunden ist, daß er sich mit diesem

hin- und herbewegt und das Steigrad bei jedem Hin- und Hergange um einen Zahn vorrücken läßt. Man sagt daher, das Pendel reguliere den Gang der Uhr.

In den **Taschenuhren** ist das Pendel durch eine sogen. Unruhe vertreten (Fig. 85). Diese ist ein sehr kleines Schwungrad, das durch eine Spiralfeder (ab) in Bewegung gesetzt wird.

Fig. 85.




In neuerer Zeit ist die Pendelbewegung zum Beweise für die **Achsendrehung der Erde** benutzt worden. Läßt man nämlich ein sehr langes Pendel mit ziemlich schwerem Pendelkörper etwa in der Richtung von Nord nach Süd schwingen, so ist nach einiger Zeit eine merkliche Änderung in der Lage der Schwingungsebene zu den Gegenständen der Umgebung erkennbar. Diese Änderung ist um so auffälliger, je weiter der Ort der Beobachtung vom Äquator entfernt liegt, und erklärt sich, da die Schwingungsebene selbst unverändert bleibt, durch die Drehung der Erde um ihre Achse.

---

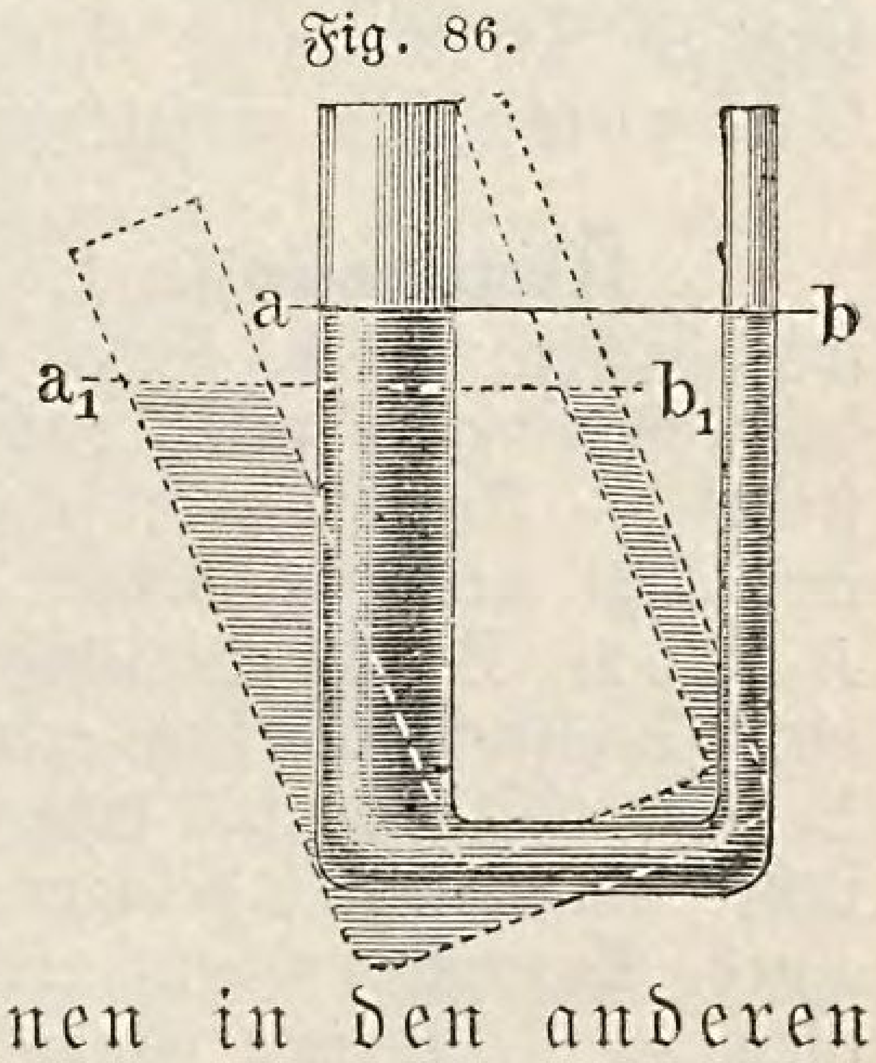
**Übungsstoff. 1.** Aus 2 Bleikugeln und 2 Fäden sollen Pendel hergestellt werden, von denen das eine schneller schwingt als das andere. Wie ist dies auszuführen? — **2.** Wie läßt es sich erklären, daß ein solches Pendel nicht unaufhörlich schwingt, da doch die Schwerkraft stetig wirkt und auch das Beharrungsvermögen keine Änderung erleidet? — **3.** Welchen Grund mag es haben, daß man bei den Uhrpendeln als pendelnden Körper eine Scheibe und nicht eine Kugel anwendet? — **4.** Welche Bewegung führt der Anker DE (Fig. 84) beim Schwingen des Pendels aus? — **5.** Welchen Zweck haben die beiden Haken des Ankers? — **6.** Angenommen, diese Vorrichtung fehlte an einer Uhr. Was würde dann eintreten müssen, wenn man die Uhr aufgezogen hätte? — **7.** Durch welche Kraft werden Taschenuhren getrieben? — **8.** Führe aus eigener Anschauung Beispiele an über die Geschwindigkeiten, mit denen die Pendel der Uhren sich bewegen, und erkläre die Unterschiede. — **9.** Um wo. Zähne geht das Steigrad einer Uhr bei einer Hin- und Herbewegung des Pendels vorwärts? — **10.** Gesetzt, das Pendel AB (Fig. 84) machte in jeder Sek. 1 Schwingung. Wie lange würde es dann dauern, bis sich das Steigrad C einmal umgedreht hätte? — **11.** Warum kann sich das folgende Rad nicht ebenso schnell drehen? — **12.** Beurteile danach den Gang der übrigen Räder. — **13.** Warum ist die Pendelscheibe der Uhren verstellbar? — **14.** Welchen Einfluß müssen starke Schwankungen der Temp. auf die Länge eines Uhrpendels und auf den Gang der übrigen Räder ausüben? (Turmuhren.) — **15.** Bei den sogen. Regulatoren unserer Wohnzimmer verwendet man zum Pendelstabe eine Holzart, die durch den Feuchtigkeits- und Temperaturwechsel der Luft wenig beeinflußt wird; früher wurde ein einfacher Metallstab angewandt. Welche Einrichtung ist vorzuziehen? — **16.** Eine Stubenuhr, die durch eine Spiralfeder getrieben wird, geht nicht so gleichmäßig, wie eine durch Gewichtstücke getriebene Uhr; warum wohl?

---

## B. Von den flüssigen Körpern.

**§ 27. Freie Oberflächen. Leitend verbundene (kommunizierende) Gefäße.** Die Oberfläche einer in Ruhe befindlichen Flüssigkeit bildet bei jeder Stellung des Gefäßes eine wagerechte Ebene. Diese Erscheinung ändert sich nicht, wenn die Flüssigkeit etwa durch Eintauchen eines Körpers geteilt oder eine Flüssigkeit in ein Gefäß gegossen wird, das aus 2 oder mehreren Gefäßen zusammengesetzt ist, die miteinander in offener Verbindung stehen (Fig. 86; Gießkannen, Kaffee- oder Theetöpfe u. s. w.).

Fig. 86.




Zusammengesetzte Gefäße, deren Teile so miteinander verbunden sind, daß die darin enthaltene Flüssigkeit ungehindert aus dem einen in den anderen fließen kann, werden **leitend verbundene** oder **kommunizierende Gefäße** genannt.

In leitend verbundenen (kommunizierenden) Gefäßen liegen die freien Oberflächen einer in Ruhe befindlichen Flüssigkeit in derselben wagerechten Ebene.

Diese Erscheinungen erklären sich aus der Schwere und der vollkommen leichten Verschiebbarkeit der Flüssigkeitsteilchen. Jeder Punkt der Oberfläche einer ruhenden Flüssigkeit muß vom Erdmittelpunkte gleichweit entfernt sein, denn bei ungleichem Abstande würden die höher gelegenen Teilchen in die tieferen Stellen hinabgleiten. Kleine Flüssigkeitsoberflächen müssen daher eben, sehr große dagegen kugelförmig gekrümmt erscheinen (siehe Fig. 1). Getrennte Oberflächen müssen, so lange der Zusammenhang der Flüssigkeit nicht ganz aufgehoben ist, ebenso erscheinen, als ob sie Teile einer und derselben Oberfläche wären.

Anwendung leitend verbundener Gefäße.

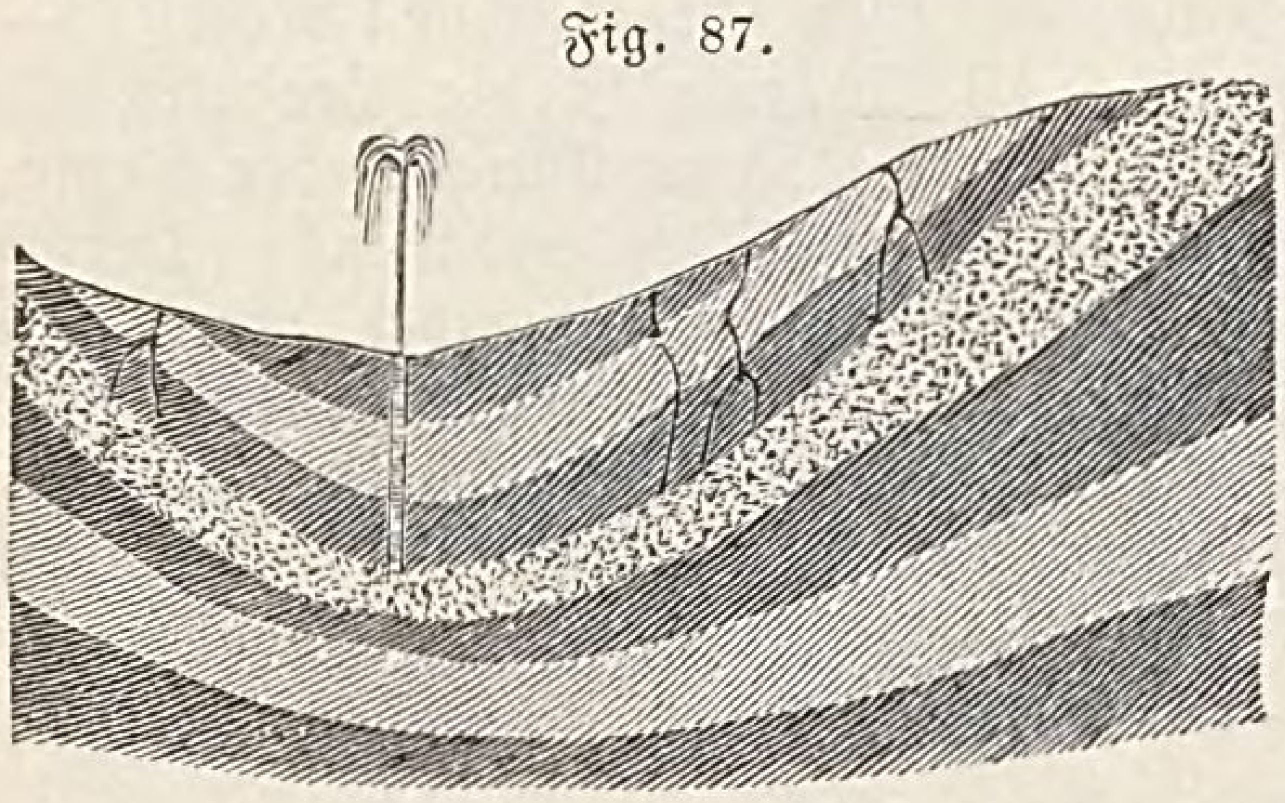
Kanalwage: Sie dient zur Ermittelung von Höhenunterschieden (z. B. bei der Anlage von Wasserleitungen) und besteht aus einer etwa 1 m langen Messingröhre, auf der an jedem Ende eine kurze senkrechte Glasröhre befestigt ist. Zum Gebrauche befestigt man das Instrument auf einem dreibeinigen Gestelle, füllt es mit Wasser und visiert vor- und rückwärts an den Rändern der beiden Wasserspiegel vorbei nach einem senkrecht aufgestellten Meßstabe.

Wasserstandsgläser: An Wasserbehältern mit undurchsichtigen Wänden, bei denen es wichtig ist, den Stand der Flüssigkeit zu kennen (z. B. Dampfkessel der Dampfmaschinen), werden außen senkrecht stehende Glasröhren so angebracht, daß sie an beiden Enden mit dem Innenraume des Gefäßes in offener Verbindung stehen.

Springbrunnen: Ist einer der beiden Schenkel zweier leitend verbundenen Röhren bedeutend kürzer als der andere und oben mit einer engen Mündung versehen, so entsteht ein Springbrunnen, wenn man die Röhren mit Wasser füllt.

Wasserleitungen: Aus hoch liegenden Teichen, Seen oder Behältern (Wassertürmen) läßt sich das Wasser durch Röhren bis in die obersten Stockwerke der Häuser leiten, wo es mit um so größerem Drucke ausfließt, je höher der Wasserspiegel in dem Behälter über der Ausflußmündung liegt.

Fig. 87.



Artesische Brunnen (nach der französischen Landschaft Artois benannt): Wo der Erdboden eine geneigte oder muldenförmige Schicht von Geröll oder Kies enthält, die beiderseits von dichtem Thon oder Mergel eingeschlossen ist (Fig. 87), kann sich in der lockeren Schicht einsickerndes Wasser ansammeln. Wird dann an einer tief gelegenen Stelle das Erdreich bis zu der wasserführenden Schicht durchbohrt, so entsteht ein Springbrunnen.

Durch das Gesetz der leitend verbundenen Gefäße erklärt sich auch die Erscheinung, daß an tief gelegenen Stellen infolge des Steigens und Fallens benachbarter Flüsse das Grundwasser steigt und fällt.

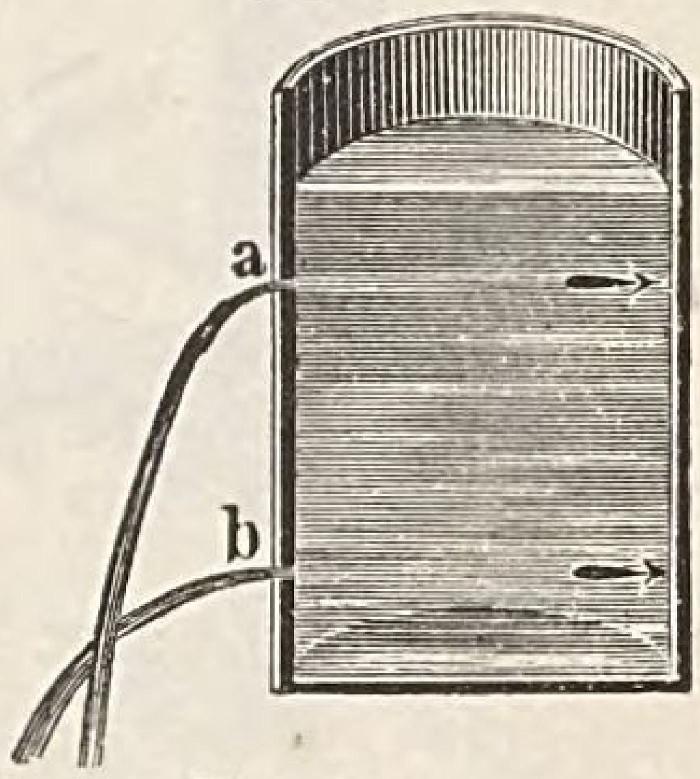
**Übungsstoff.** 1. Nenne Garten- und Küchengeräte, welche leitend verbundene Gefäße bilden. — 2. Kann es beim Gebrauche der Kanalwage auf die Richtigkeit des Verfahrens einen Einfluß ausüben, ob die Verbindungsröhre wagerecht oder ein wenig schräg steht? — 3. Mit einer Kanalwage sei die Lage zweier Punkte A und B bestimmt. Um wv. liegt der eine höher als der andere, wenn nach den Ablesungen an dem Meßstabe A 76 cm, B 130 cm unter der Visierlinie liegt? — 4. Warum muß auch das obere Ende einer Wasserstandsröhre mit dem Innenraume des Behälters in offener Verbindung stehen? — 5. Wie läßt sich aus einem Trichter, einem Gummischlauche und einer zugespitzten Glasröhre ein kleiner Springbrunnen herstellen? — 6. Wie verhält sich die Höhe, die der Strahl eines Springbrunnens erreicht, zu der Höhe des Wasserstandes im Behälter? Erkläre dies. — 7. Wovon hängt die Höhe des Wasserstrahles eines artesischen Brunnens wesentlich ab? — 8. Warum können in ebenen Gegenden keine artesischen Brunnen angelegt werden? — 9. Inwiefern können (nach Fig. 87) lockere Gesteinsschichten beim Bergbau,

etwa bei Anlage eines Stollens, sehr störend werden? — **10.** Inwiefern ist bei der Anlage von Wasserleitungen das Gesetz der kommunizierenden Gefäße zu berücksichtigen, und wie lassen sich die Höhenunterschiede ermitteln? — **11.** Können Wasserleitungen auch über Anhöhen angelegt werden, und unter welcher Bedingung? — **12.** Bei Hochwasser macht sich das Gesetz über leitend verbundene Gefäße oft in sehr unangenehmer Weise geltend; inwiefern? — **13.** Warum wird diese Ersch. bei schnellem Steigen des Hochwassers gewöhnlich etwas später als das Hochwasser selbst eintreten, und bei schnellem Fallen desselben auch etwas später wieder verschwinden?

---

**§ 28. Druck und Bewegung der Flüssigkeiten infolge der Schwere.** Die in Fig. 88 dargestellte Erscheinung beweist, daß die Wände eines mit Flüssigkeit gefüllten Gefäßes durch die Flüssigkeit einen Druck erleiden, der mit der Tiefe zunimmt. Inwiefern?

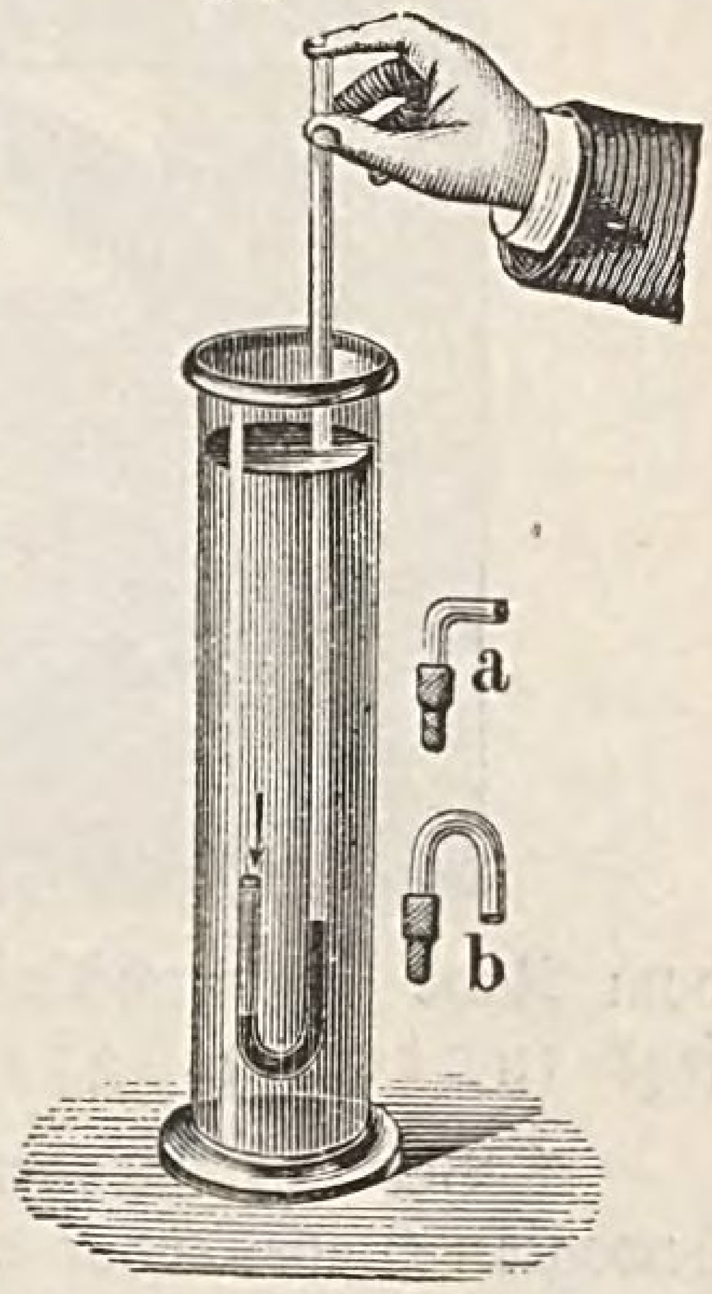
Fig. 88.




Dasselbe gilt auch für Körper, die in eine Flüssigkeit eingetaucht sind. In leck gewordene Kähne oder Schiffe z. B. dringt das Wasser um so stärker ein, je tiefer die schadhafte Stelle unter dem Wasserspiegel liegt.

Taucht man eine am unteren Ende U förmig gebogene Glasröhre, die etwas Quecksilber oder gefärbtes Wasser enthält, in Wasser ein (Fig. 89), so ist an dem Aufsteigen der Flüssigkeit im langen Schenkel der Röhre deutlich zu erkennen, daß das Wasser auf die Flüssigkeit um so stärker drückt, je tiefer man die Röhre eintaucht. Dies erfolgt auch, wenn die untere Öffnung der Röhre seitwärts oder abwärts gerichtet ist (a und b). Genaue Versuche lehren:

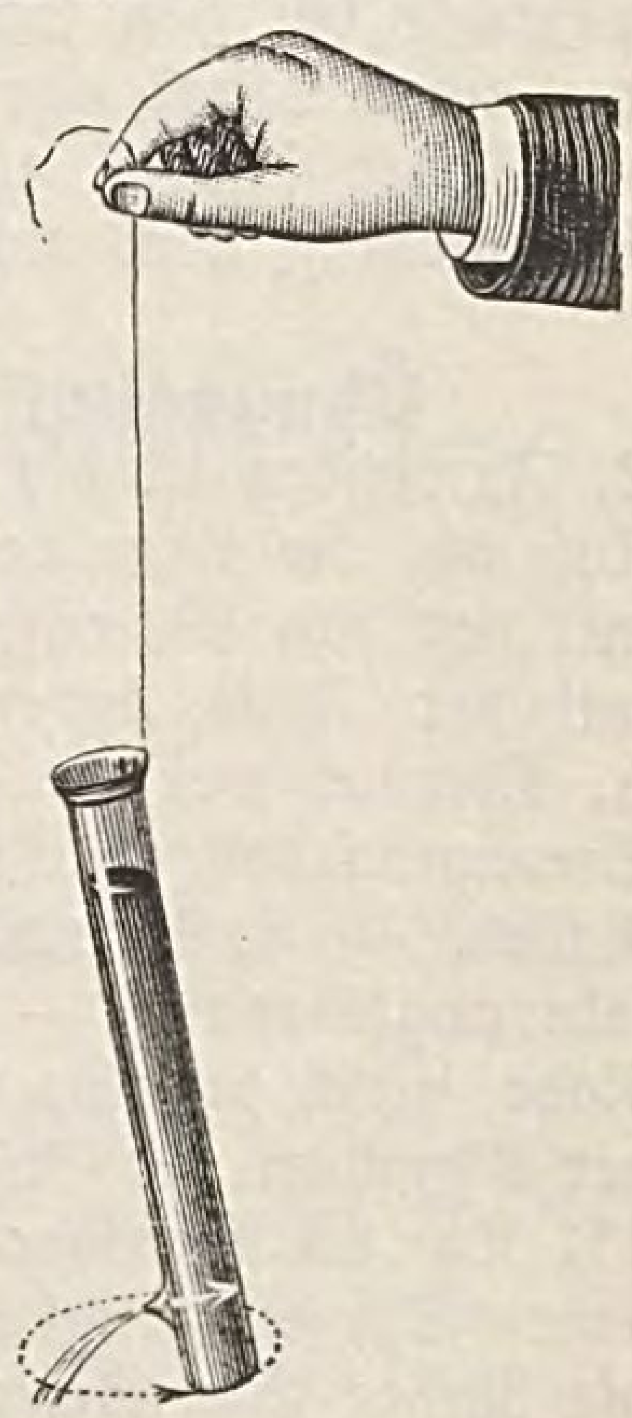
Fig. 89.




Flüssigkeiten üben sowohl auf den Boden und die Seitenwand der Gefäße, als auch auf die Teilchen der Flüssigkeit selbst nach allen Richtungen einen gleichstarken Druck aus, der mit der Tiefe zunimmt.

Wegen des starken Wasserdruckes müssen große Fässer und Bottiche, tiefliegende Röhren von Wasserleitungen, ferner Deiche und Schleusenthore, sowie die Wände und Böden der Schiffe sehr fest sein. — Gegenstände, die in großer Tiefe auf dem Grunde des Meeres liegen, haben einen bedeutenden Druck auszuhalten. Fische und andere in der Tiefe des Meeres lebende Tiere empfinden diesen Druck nicht, da er durch einen gleichen Gegendruck von innen aufgehoben wird.

Fig. 90.



**Rückwirkung (Reaktion) und Stoß des fließenden Wassers.** Wird der Druck, den eine Flüssigkeit auf die Wand ihres Gefäßes ausübt, an einer Stelle dadurch aufgehoben, daß man die Flüssigkeit ausfließen läßt, so verschiebt sich das Gefäß bei genügender Bewegbarkeit leicht nach der entgegengesetzten Seite. Dies wird durch den Flüssigkeitsdruck hervorgerufen, den die Gefäßwand der Öffnung gegenüber erleidet. Ist das Gefäß um eine senkrechte Achse drehbar, so tritt eine Drehung des Gefäßes ein, die der Ausflußrichtung entgegengesetzt ist (Fig. 90).

Den Rückstoß des ausfließenden Wassers hat man zur Drehung wagerechter Wasserräder angewandt (Segnersches Wasserrad, Fig. 91, folg. Seite). — Die eigentlichen Turbinen oder wagerechten

Wasserräder werden durch den Stoß fließenden Wassers getrieben (Fig. 92). Zu diesem Zwecke wird das Wasser in einen weiten Cylinder geleitet, auf dessen Wand

Fig. 91.

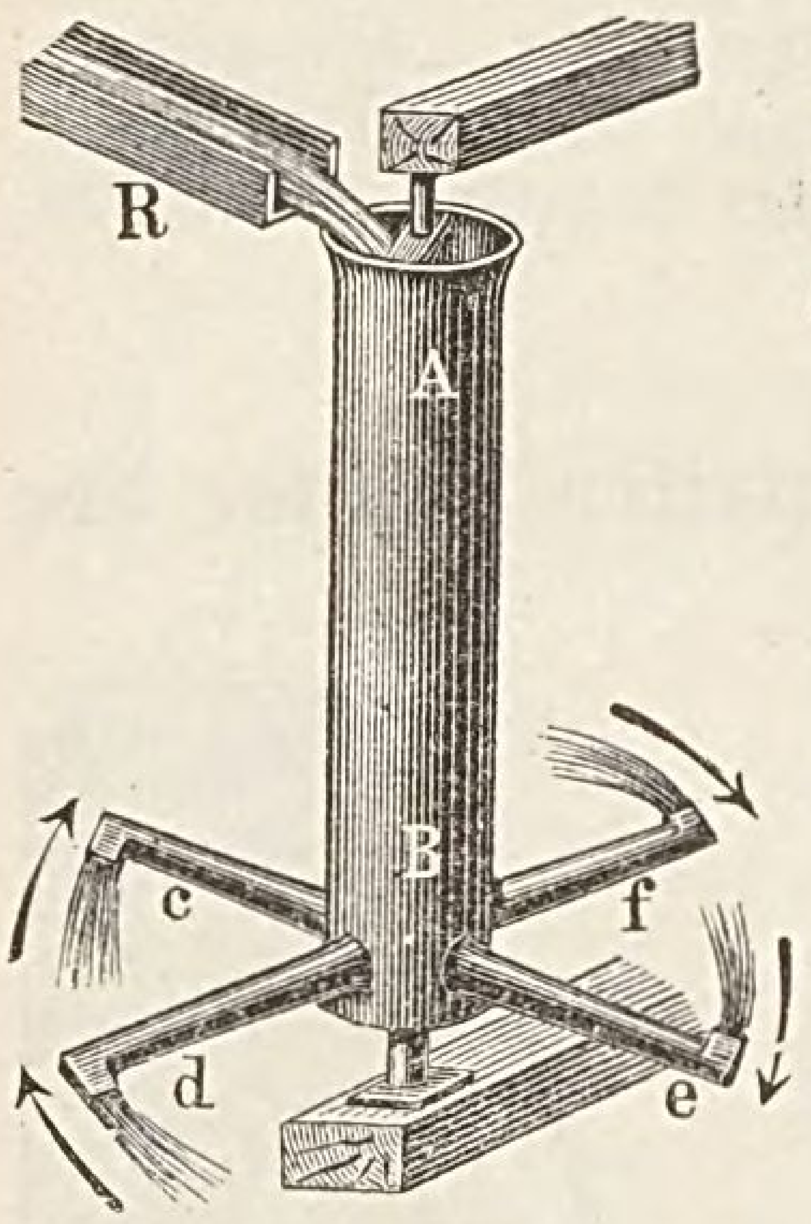
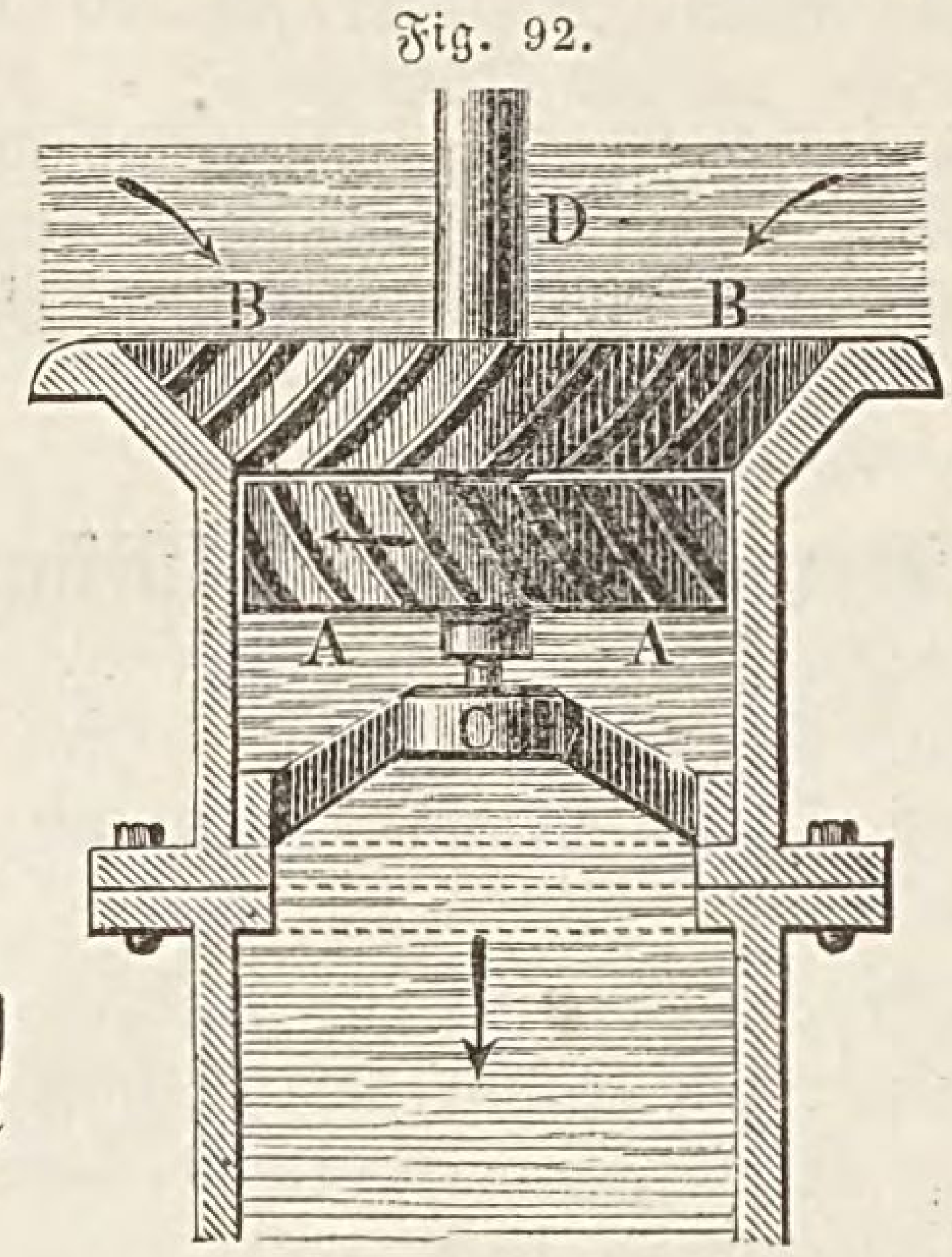



Fig. 92.




nach innen gerichtete, gekrümmte Eisenplatten (Leitschaufeln) befestigt sind, die ihm eine solche Richtung geben, daß es auf die Schaufeln des darunter liegenden Rades einen kräftigen Stoß ausübt.

Gewöhnlich läßt man das Wasser auf senkrecht stehende Räder einwirken, und zwar entweder so, daß es von oben in die Schaufeln fällt (Fig. 93) und durch den Stoß, besonders aber durch sein Gewicht das Rad dreht (oberschlägige Räder), oder so, daß es vor der Achse des Rades in die Zellen desselben fällt (mittelschlägige Räder), oder aber in der Weise, daß es mit genügender Geschwindigkeit unter

Fig. 93.

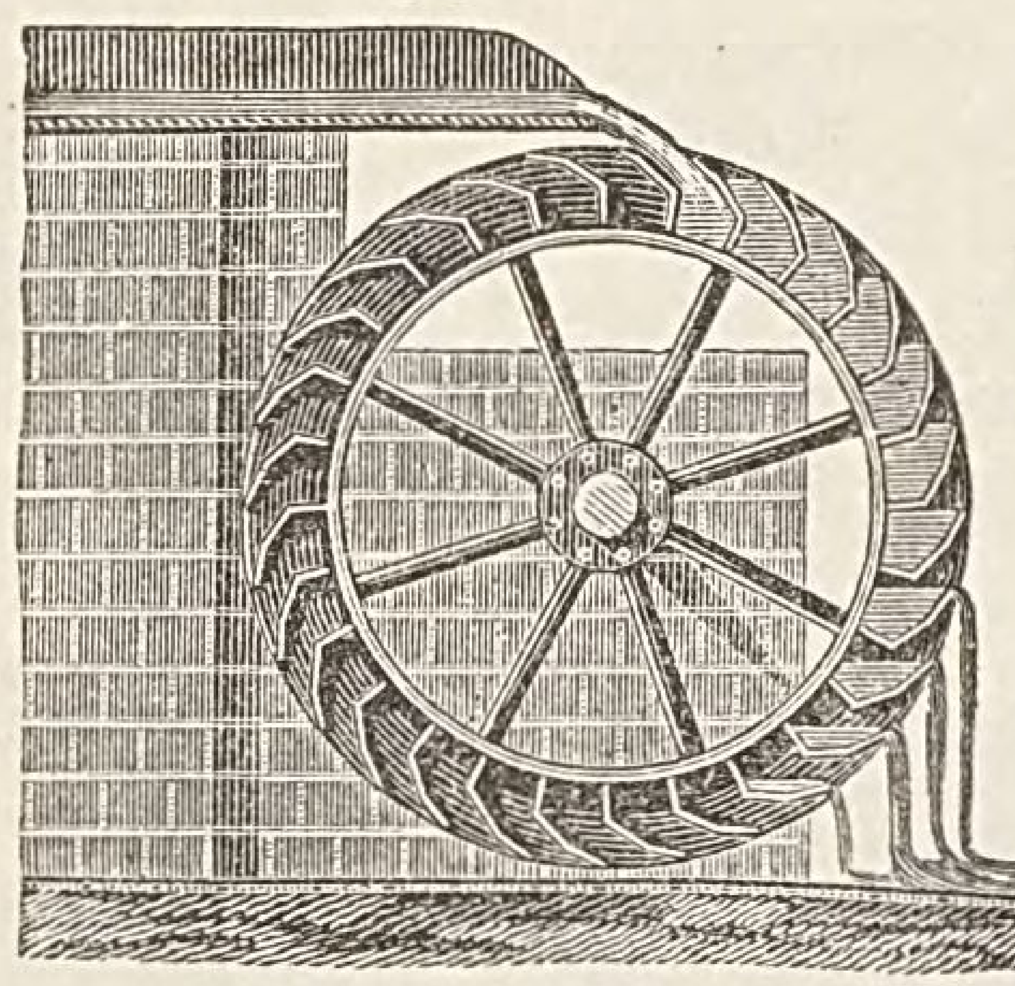
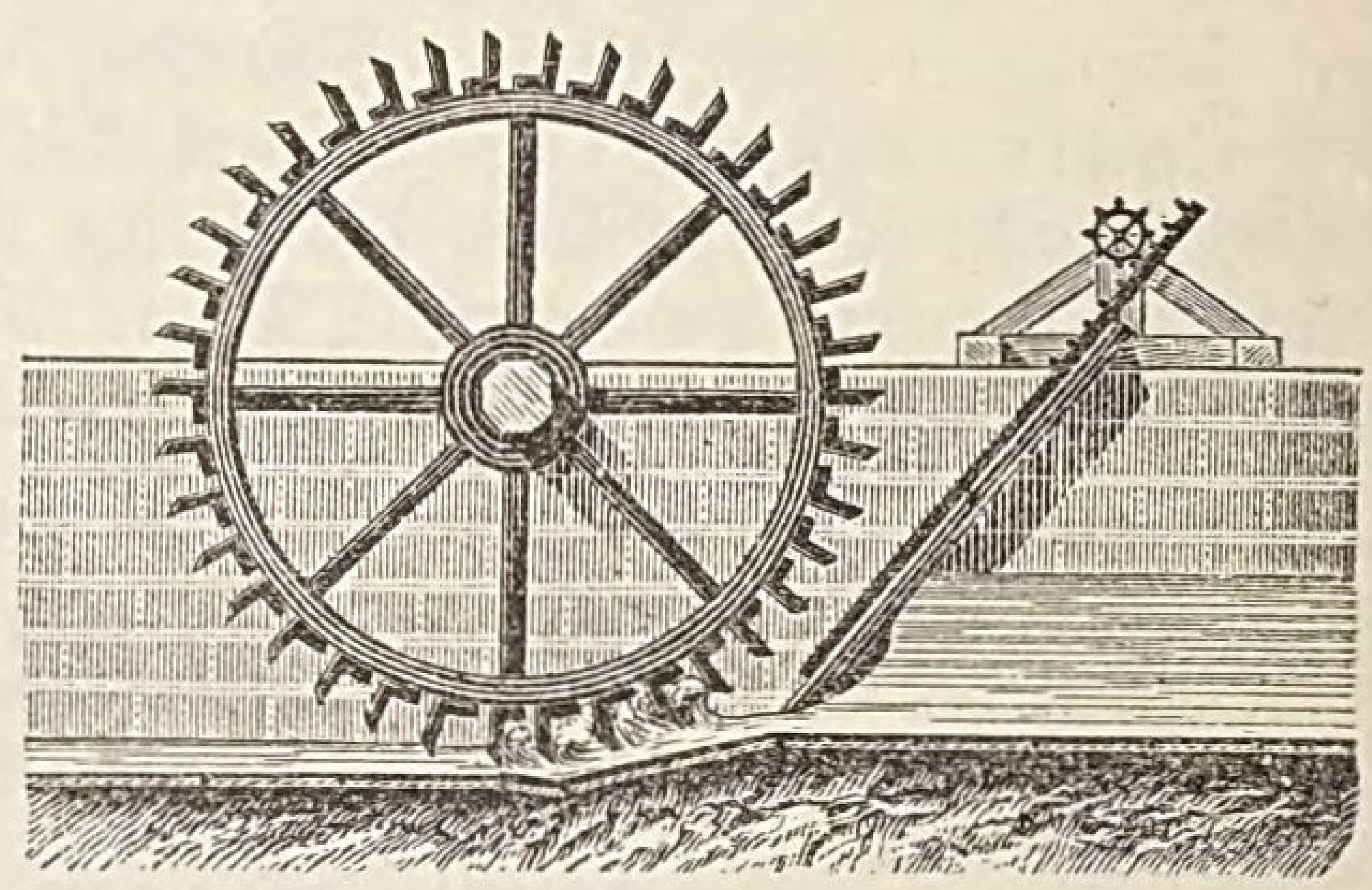


Fig. 94.



dem Rade hindurchfließt (Fig. 94) und dieses durch einen kräftigen Stoß in Bewegung setzt (unterschlägige Räder).

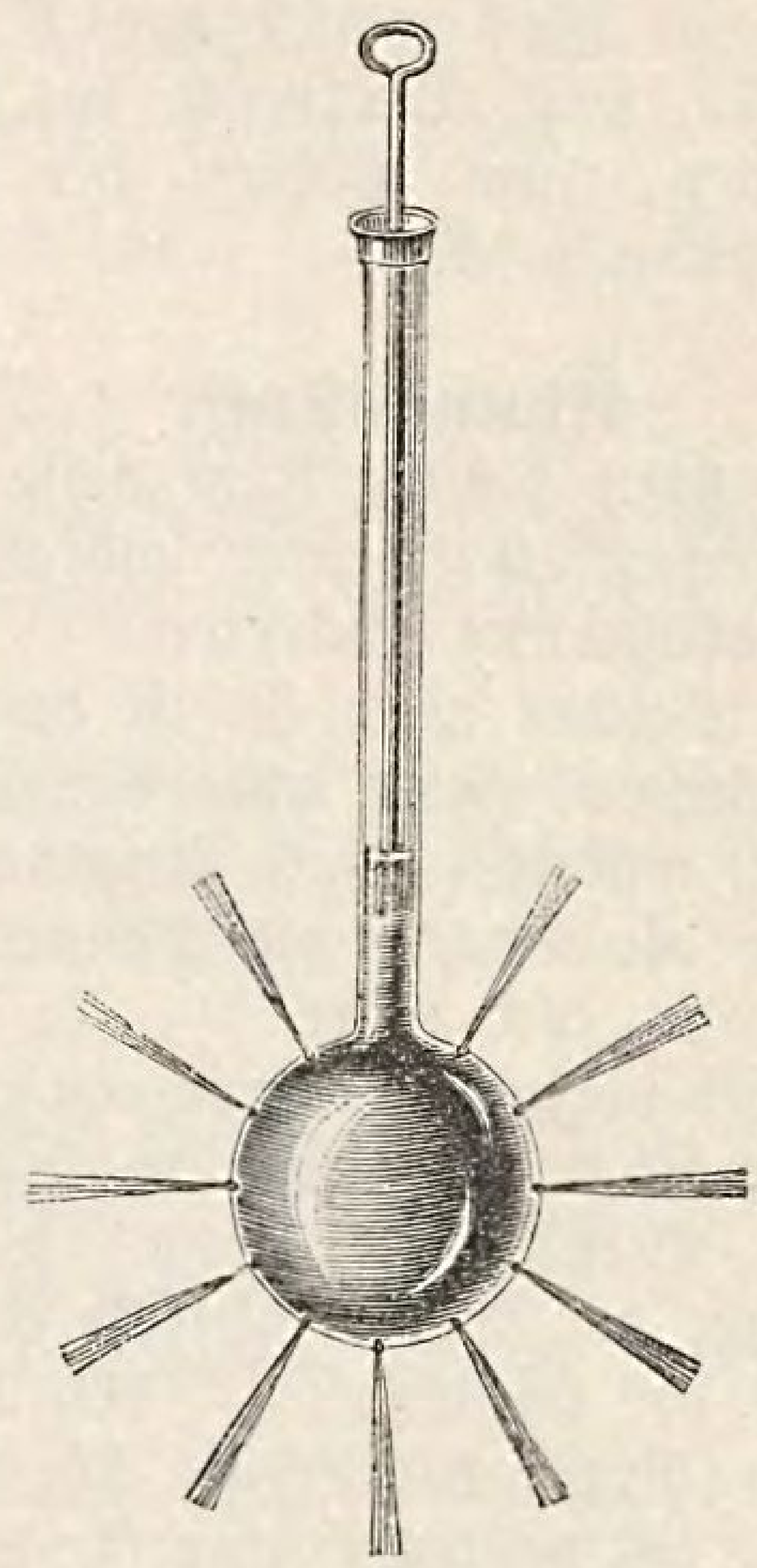
Bei den **Rädern und Schrauben der Dampfschiffe** wirkt umgekehrt der Stoß des bewegten Rades oder der Schraube gegen die ruhende Wassermasse. Bei den Raddampfern ist an jeder Seite des Schiffes auf einer quer liegenden Achse ein Schaufelrad befestigt, während bei den Schraubendampfern eine Flügelschraube hinten unter dem Schiffe auf einer Längsachse befestigt ist. Durch Dampfkraft in Bewegung gesetzt, werfen beide, die Räder sowohl als die Schraube, das Wasser nach hinten, so daß das Schiff durch Rückwirkung nach vorn getrieben wird.

---

**Übungsstoff.** 1. Wie läßt sich am leichtesten entdecken, ob ein Faß undicht ist? — 2. Inwiefern ist die Lage der undichten Stellen hierbei von Einfluß? — 3. Welchen Einfluß übt die Lage der schadhaften Stelle eines leck gewordenen Schiffes auf die Kraft aus, mit der das W. eindringt? — 4. Wie müßte sich der Wasserstand in einer Taucherglocke mit der Tiefe ändern, wenn nicht von oben beständig Luft nachgepumpt würde? — 5. Warum werden Luftblasen beim Aufsteigen im W. immer größer? — 6. Erkläre die Bewegung des oberschlägigen Wasserrades. — 7. Desgl. die Bewegung des unterschlägigen Rades. — 8. Warum werden bei oberschlägigen Rädern Kastenschaufeln statt flacher Schaufeln angewandt? — 9. Warum kann bei einem unterschlägigen Rade das W. hinter dem Rade nicht dieselbe Geschw. haben, wie vor dem Rade? — 10. Inwiefern läßt sich aus der Abnahme der Geschw. schließen, ob die Wasserkraft mehr oder weniger ausgenutzt ist? — 11. Die Wasserräder der in Gebirgsthälern angelegten und durch das W. der Bäche getriebenen Schneidemühlen sind stets oberschlägig; warum wohl? — 12. In welcher Weise wirken die Räder und Schrauben der Dampfschiffe?

**§ 29*. Fortpflanzung eines äußeren Druckes. Hydraulische Presse.** Feste Körper pflanzen einen auf sie ausgeübten Druck oder Stoß gewöhnlich nur nach einer Richtung fort (Schlag auf ein Stemmeisen oder auf einen Meißel). Besteht ein Körper aus einem weichen, leicht dehnbaren oder aus einem feinkörnigen Stoffe, so vermag sich durch diesen ein äußerer Druck nach verschiedenen Richtungen fortzupflanzen (seitliche Ausdehnung von Gummibällen, Sand- oder Mehlsäcken durch starke Belastung). Bei Flüssigkeiten weichen die Teilchen infolge ihrer vollkommen leichten Verschiebbarkeit nach allen Richtungen mit gleicher Leichtigkeit aus, wenn der geringste äußere Druck auf sie ausgeübt wird. Dies giebt sich an einem mit Flüssigkeit gefüllten Gefäße, dessen Wand mit zahlreichen feinen Löchern versehen ist, beim Eintreiben eines Kolbens dadurch leicht zu erkennen, daß die Flüssigkeit aus den Öffnungen nach allen Seiten gleichmäßig ausspritzt (Fig. 95). Ist ein Hohlkörper mit elastischer Wand, z. B. ein dünnwandiger Gummiball, in einer Flüssigkeit ganz untergetaucht, so wird er durch einen auf die Flüssigkeit ausgeübten Druck von allen Seiten gleichstark zusammengepreßt. Hieraus folgt:

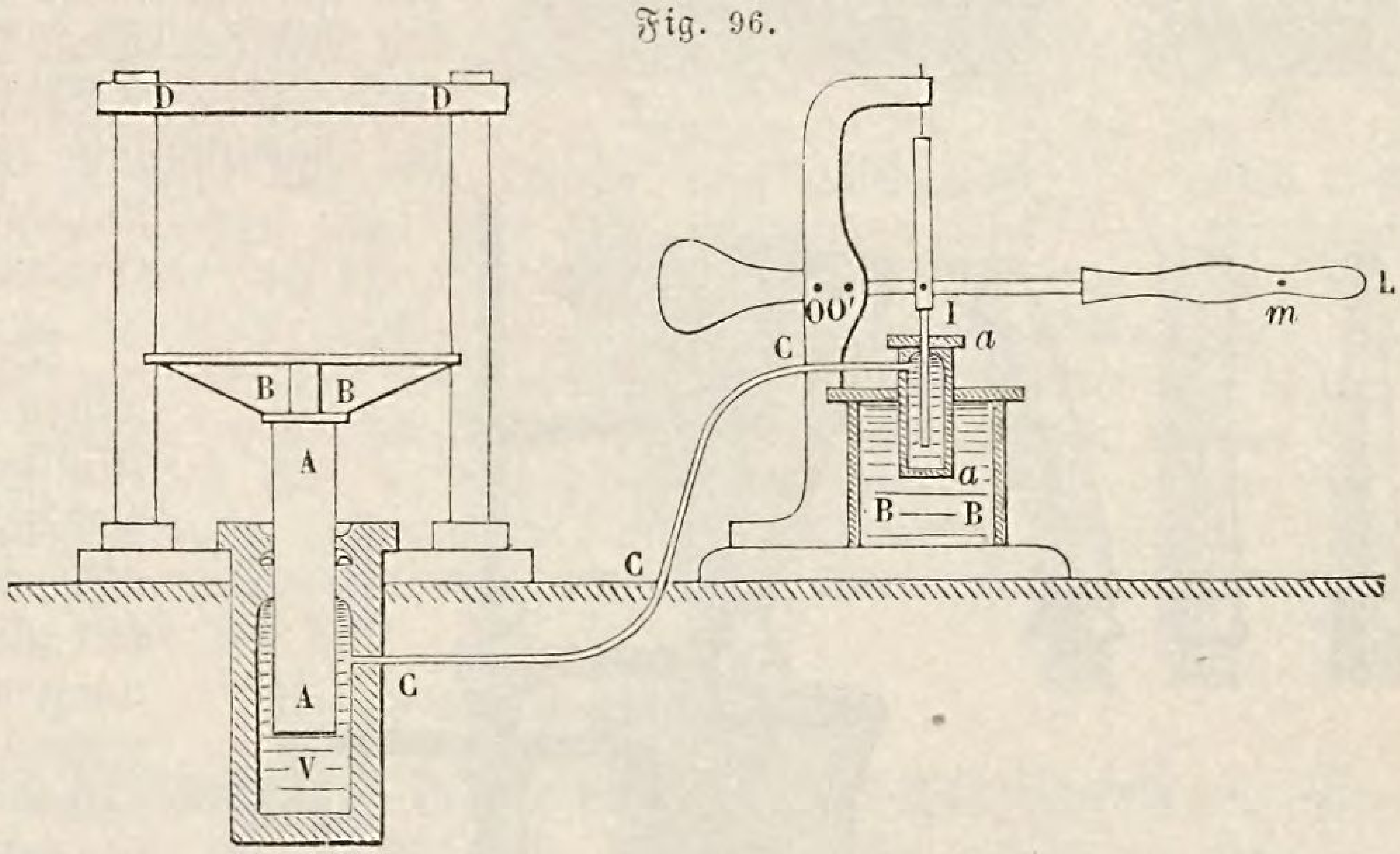
Fig. 95.



Wird auf eine eingeschlossene Flüssigkeit ein Druck ausgeübt, so pflanzt sich dieser nach allen Richtungen gleichmäßig fort, d. h. jede Fläche, die so groß ist wie die gedrückte, erleidet einen gleichstarken Druck.

Auf der gleichmäßigen Fortpflanzung des Druckes beruht die Wirkung der **hydraulischen Pressen.** Dies sind Vorrichtungen zur Ausübung eines bedeutenden Druckes unter Anwendung von Wasserröhren (Fig. 96).

Fig. 96.




Zwei aufrechtstehende Hohlcylinder (V und aa) von sehr ungleicher Weite, von denen der engere in einen Wasserbehälter hinabreicht, sind durch eine Röhre miteinander verbunden. In jedem der beiden Cylinder befindet sich ein Kolben. Der enge Cylinder bildet mit dem Kolben eine Saugdruckpumpe, durch welche Wasser in den weiten Cylinder gepumpt werden kann. Dadurch wird der Preßkolben in diesem Cylinder gehoben.

Beispiel zur Berechnung des Druckes: Ist der Querschnitt des Preßkolbens 100mal so groß als der des Pumpenkolbens, so ist der durch das Wasser von unten nach oben darauf ausgeübte Druck auch 100mal so groß als der Druck, der durch den Pumpenkolben auf das Wasser ausgeübt wird. Wird der Pumpenkolben mittelst

eines Hebels (OL) bewegt, dessen Kraftarm etwa 6 mal so lang ist als der Lastarm, so ist der Druck auf den Preßkolben 600 mal so groß als die am Hebel wirkende Kraft. — Wird der Preßkolben durch das Wasser 1 mm gehoben, so betragen die beim Niederdrücken des Hebels von der Kraft zurückgelegten Wege zusammen 600 mm. (Nachweis durch Rechnung!)

Hydraulische Pressen finden nützliche Anwendung zum Pressen von Baumwolle, Heu, Papier u. dgl., zum Krümmen der Schiffspanzer, zum Heben sehr bedeutender Lasten, zum Prüfen der Haltbarkeit von Wasserleitungsröhren, Dampfkesseln, Ankerketten u. s. w.

---

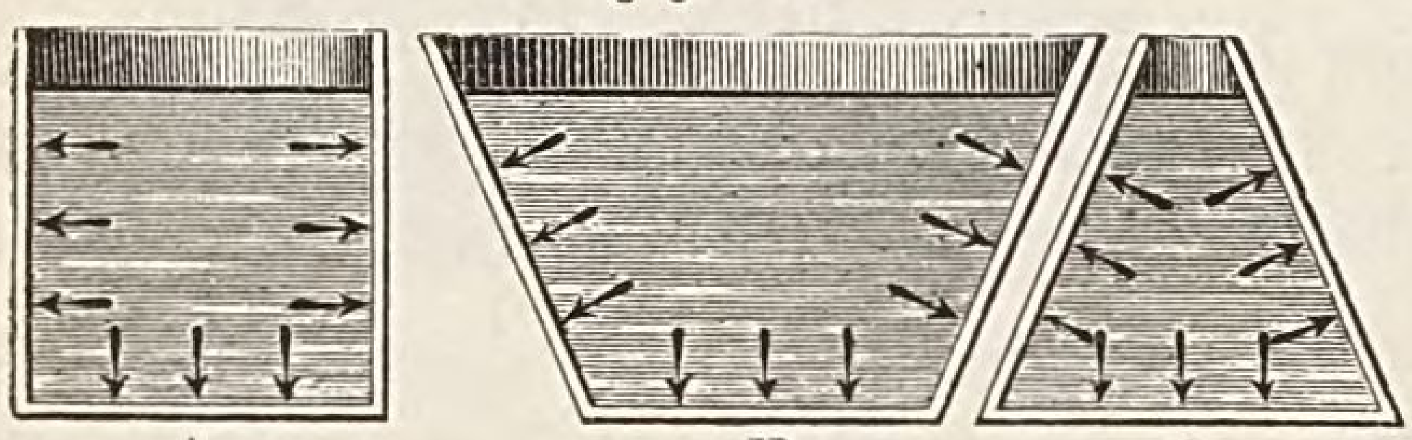
**Übungsstoff.** 1. Durch einen kräftigen Schlag auf den Kork einer ganz mit Flgk. gefüllten Flasche kann diese leicht zerspringen. Erkl.! — 2. Angenommen, Preßkolben und Pumpenkolben einer hydraulischen Presse seien gleichdick; warum könnte dann keine Druckvergrößerung eintreten? — 3. Welche Einrichtung ist daher als wesentlich zu bezeichnen? — 4. Welcher mech. N. ist damit verbunden? — 5. Welchen mech. V. und welchen N. würde es haben, wenn man den Pumpenkolben möglichst eng, den Preßkolben hingegen möglichst weit machte? — 6. Angenommen, die Kolben hätten quadratische Querschnitte; wie würden sich diese dann zu einander verhalten, wenn der Pumpenkolben 2 cm, der Preßkolben 20 cm dick wäre? — 7. Wie kann man dieses Verhältnis finden, ohne die Querschnitte selbst vorher zu berechnen? — 8. Ebenso kann man auch bei kreisförmigen Querschnitten verfahren. Welche Druckvergrößerung würde demnach stattfinden, wenn der Durchmesser des Preßkolbens 12 mal so groß wäre als der des Pumpenkolbens? — 9. Welche aber, wenn der Druck mittelst eines Hebels ausgeübt würde, dessen Kraftarm 5 mal so lang ist als der Lastarm? — 10. Die Kraft sei in diesem Falle 20 kg, wie groß ist der Druck auf den Preßkolben? — 11. Wie verhalten sich dann die Wege zu einander? — 12. In Fig. 96 deuten O und $O_1$ 2 Durchbohrungen für die Drehungsachse des Hebels an. Welchen Zweck mag diese Einrichtung haben?

---

## § 30*. Größe des Bodendruckes.

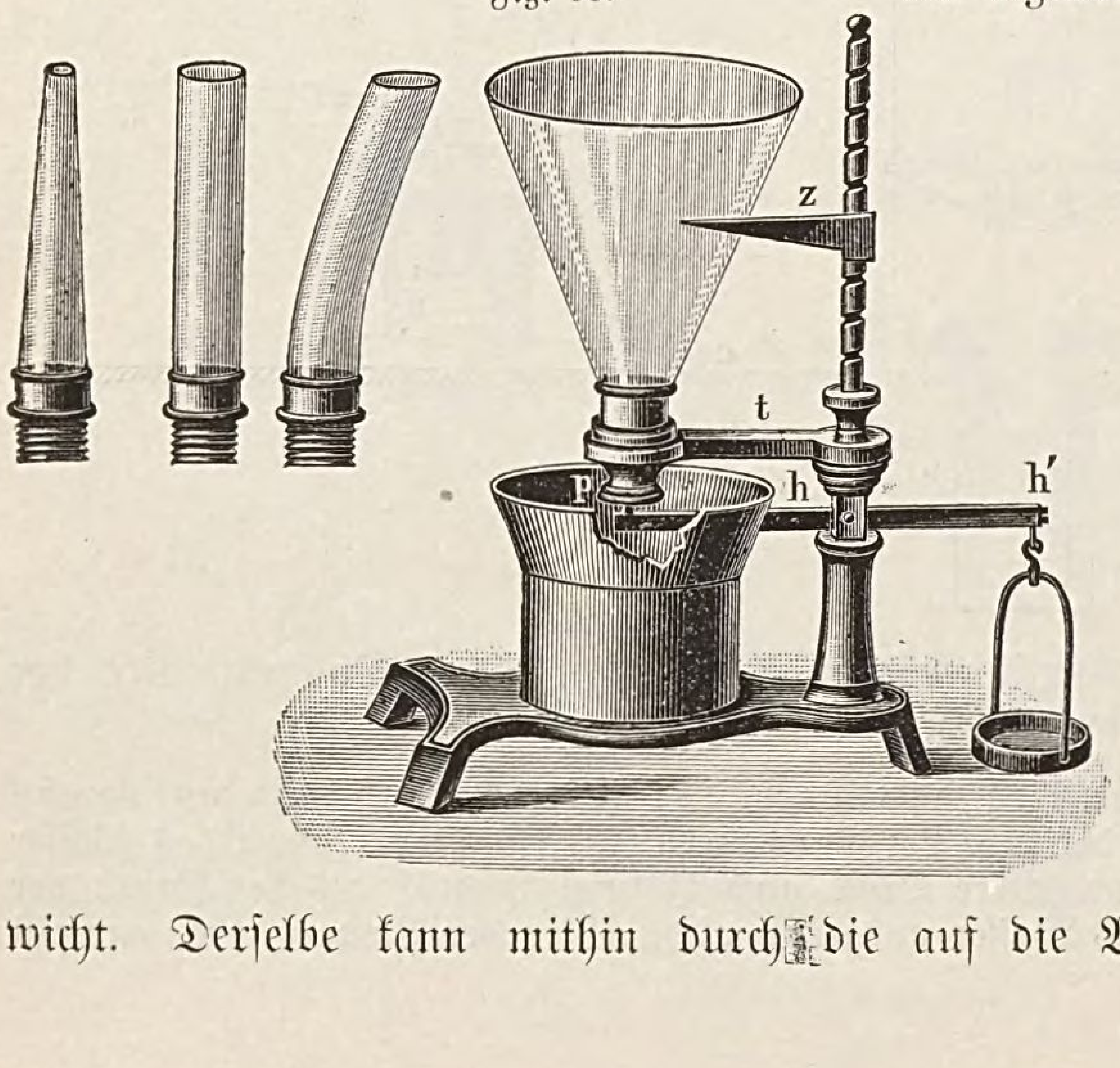
Wenn Gefäße mit gleichgroßen Bodenflächen, aber von ungleicher Weite (Fig. 97) gleichhoch mit Wasser oder einer anderen Flüssigkeit gefüllt werden, so liegt die Vermutung nahe, daß der Boden im weitesten Gefäße (B) den größten, im engsten Gefäße (C) dagegen den geringsten Druck durch die Flüssigkeit erleide. Diese Vermutung ist jedoch irrig. Genaue Versuche zeigen vielmehr die eigentümliche Erscheinung, daß der Bodendruck in allen drei Gefäßen derselbe ist.

Fig. 97.



A B C

Fig. 98.




Um den Druck beobachten zu können, den eine Flüssigkeit auf den Boden verschiedener Gefäße ausübt, benutzt man Gefäße mit gleichgroßen Bodenöffnungen, die auf den wagerechten Arm (t, Fig. 98) eines Gestelles aufgeschraubt werden können. Durch den Wagebalken hh' wird die Platte p gegen die Bodenöffnung des Gefäßes gedrückt und hält dem Bodendrucke das Gleichgewicht. Derselbe kann mithin durch die auf die Wagschale gelegten Gewichte

gemessen werden. Füllt man nun die verschiedenen Gefäße nacheinander bis zu gleicher Höhe mit Wasser (der Zeiger z giebt die Höhe des Wasserstandes an), so erkennt man, daß Wassersäulen von gleicher Höhe auch einen gleichgroßen Bodendruck ausüben. Der Bodendruck nimmt mit der Höhe der Wassersäule zu, ist jedoch von der Menge des im Gefäße enthaltenen Wassers ganz unabhängig und immer gleich dem Gewichte der im cylindrischen Gefäße enthaltenen Wassersäule.

Diese Erscheinungen erklären sich aus der vollkommen leichten Verschiebbarkeit der Flüssigkeitsteilchen.

In dem Gefäße mit senkrechten Wänden (A, Fig. 97) heben sich die auf die Wände gerichteten (in der Figur durch Pfeile angedeuteten) Druckkräfte auf; es kommt also für den Bodendruck nur die nach unten gerichtete Druckwirkung in Betracht, die dem Gewichte der Wassermasse entsprechen muß.

Bei dem nach oben erweiterten Gefäße (B) wirkt der Wasserdruck auf die Seitenwände schräg nach unten; dieser Teil des Druckes wird aber durch den Widerstand der Wände aufgehoben, so daß für die Bodenfläche wiederum nur der Druck der senkrecht über ihr stehenden Wassersäule in Betracht kommt.

Bei dem nach oben enger werdenden Gefäße (C) wirkt der Seitendruck schräg nach oben und sucht also das Gefäß zu heben, während (nach dem Gesetze der allseitigen Fortpflanzung des Druckes) die Bodenfläche, da sie dieselbe Größe hat und das Wasser in allen Gefäßen gleichhoch steht, auch den gleichen Druck erleidet, wie in den beiden anderen Gefäßen.

Der Druck, den eine Flüssigkeit auf den Boden des Gefäßes ausübt, ist unabhängig von der Form und Weite des Gefäßes und gleich dem Gewichte einer Flüssigkeitssäule, die den Boden zur Grundfläche und den Abstand des Flüssigkeitsspiegels vom Boden zur Höhe hat.

Beispiel. Ist der Boden eines 2 m hoch mit Wasser gefüllten Gefäßes 400 qcm groß, so erleidet er einen Druck von $400 \times 200 = 80000$ g $= 80$ kg, mag das Gefäß nach oben weiter, ebenso weit oder enger sein als unten.

---

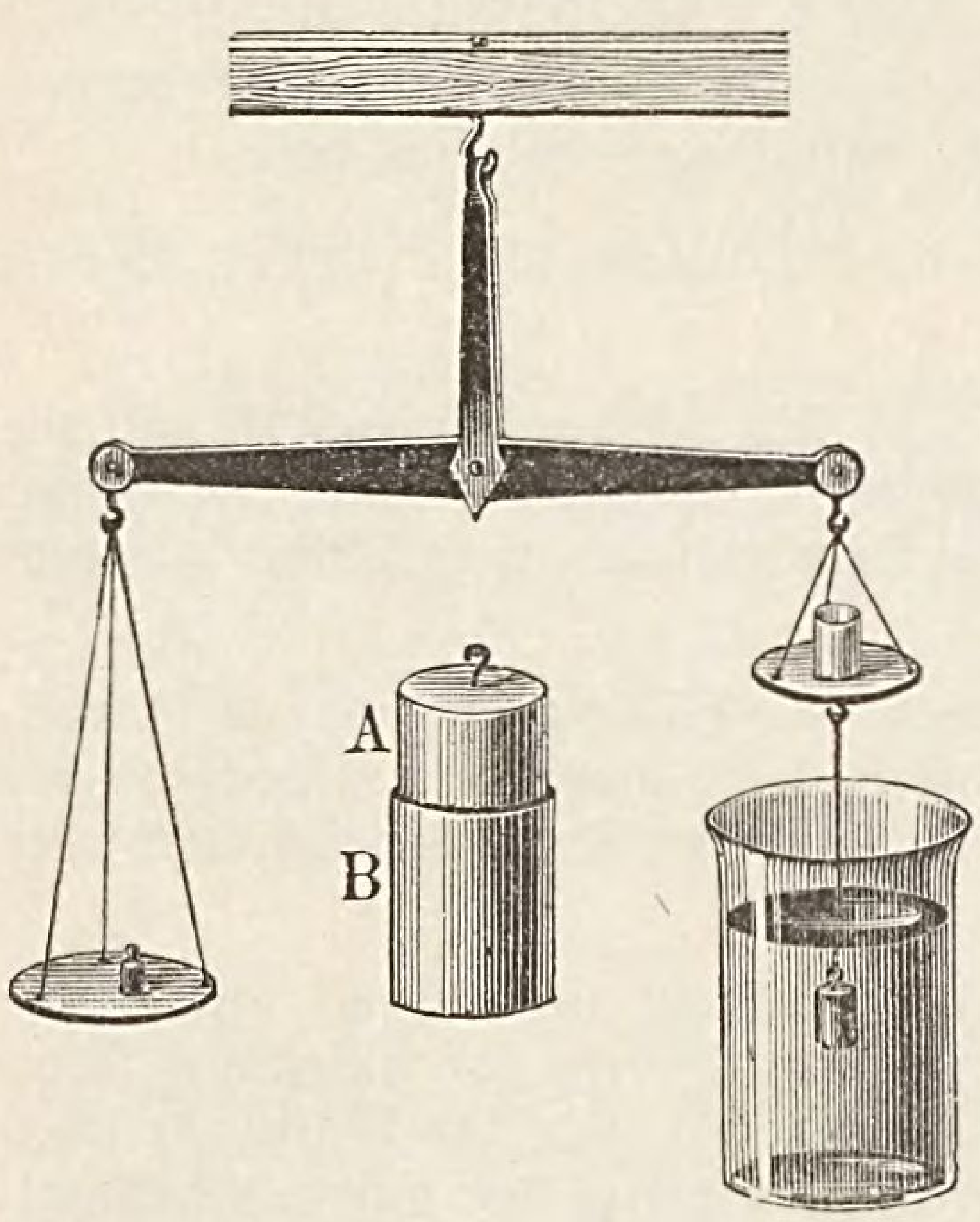
**Übungsstoff.** 1. Wann ist der Bodendruck einer Flgk. größer als ihr Gew., wann dem letzteren gleich, und wann kleiner als das Gew.? — 2. Ein mit W. gefülltes Gefäß von der Form des Gefäßes C (Fig. 97) werde auf dem Kopfe getragen. Hat der Kopf dann den Bodendruck oder das Gew. des W. zu erleiden? — 3. Wende dies auf das Gefäß A und B derselben Figur an. — 4. Warum darf ein Regenfaß, in dessen Deckel das Rohr einer Dachrinne mündet, oben nicht dicht verschlossen sein? — 5. Wo. würde bei dichtem Verschluß der Druck auf den Boden des Fasses betragen, wenn dieser 0,8 qm groß wäre und das W. bei einem starken Regen 5 m hoch in der Röhre stände (vom Boden ab)? — 6. Ein nach oben sich erweiterndes Gefäß enthalte 8 Liter W. Wäre es überall gleichweit, so würden bei gleicher Höhe des Wasserstandes 2 Liter weniger darin sein. a. Welches Gew. hat das W.? b. Wie groß ist der Druck des W. auf den Boden des Gefäßes? — 7. Ein anderes, sich nach oben verengendes Gefäß mit gleicher Bodenfläche enthalte bei derselben Wasserhöhe nur 4 Liter W. Wie groß ist in diesem Falle der Bodendruck und das Gew. des W.?

---

**§ 31*. Gewichtsverlust fester Körper in Flüssigkeiten. Specifisches Gewicht.** **a. Gewichtsverlust.** Die tägliche Erfahrung lehrt, daß ein Körper, wenn er in Wasser eingetaucht ist, leichter erscheint als außerhalb des Wassers. Einen Badenden z. B. kann man mit Leichtigkeit an einer Schnur im Wasser halten. Wenn man ein mit Wasser gefülltes Gefäß aus dem Wasser hebt, so wird es merklich schwerer; senkt man das Gefäß wieder ins Wasser ein, so nimmt sein Gewicht ab. — Ein Körper verliert demnach in einer Flüssigkeit scheinbar etwas von seinem Gewichte.

Fig. 99 zeigt, in welcher Weise sich dies genau ermitteln läßt. Taucht man den an einem dünnen Faden hängenden massiven Metallcylinder ganz in Wasser, so wird das zuvor hergestellte Gleichgewicht aufgehoben. Es tritt aber wieder Gleichgewicht ein, wenn man den oberen, hohlen Cylinder, in den der eingetauchte Cylinder genau hineinpaßt, ganz mit Wasser füllt. Hieraus folgt:

Fig. 99.




Wenn ein Körper in eine Flüssigkeit eingetaucht wird, so verliert er (scheinbar) von seinem Gewichte soviel, als die Flüssigkeit wiegt, die er verdrängt: **Archimedisches Prinzip.**

Diese Erscheinung erklärt sich daraus, daß, während sich die auf den Körper wirkenden Seitendrucke aufheben, der aufwärts gerichtete Druck um das Gewicht der verdrängten Flüssigkeit größer ist, als der abwärts gerichtete Druck.

Der Überdruck, den ein Körper nach oben erleidet, heißt **Auftrieb.** Der Auftrieb ist gleich dem Gewichtsverluste des untergetauchten Körpers.

Ein Vergleich des Gewichtsverlustes (Q) mit dem Gewichte (P) des Körpers ergiebt Folgendes:

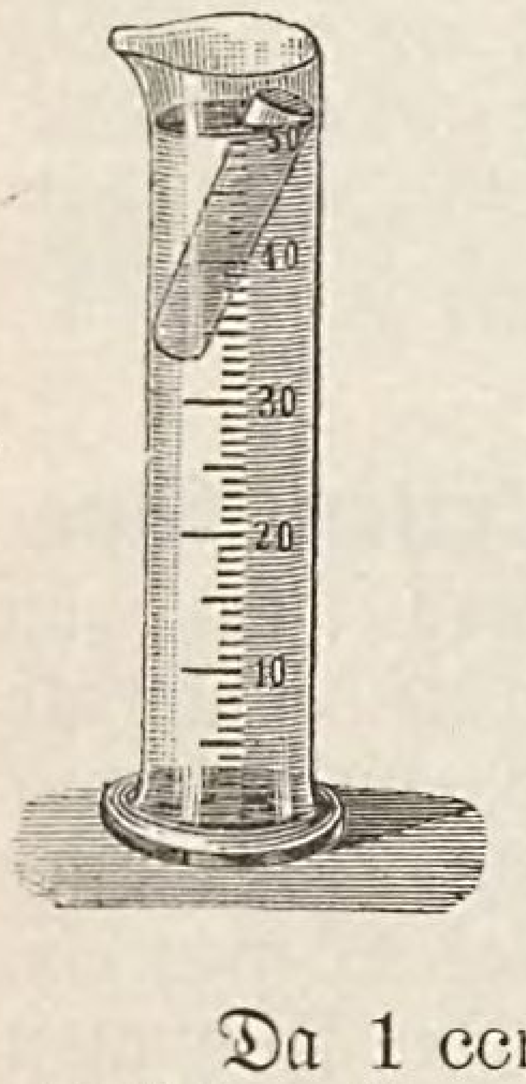
**1.** Ist der Gewichtsverlust größer als das Gewicht ($Q > P$), so muß der Körper, wenn er untergetaucht und dann sich selbst überlassen wird, dem Auftriebe folgen und so lange in der Flüssigkeit aufsteigen, bis das Gewicht der von dem eintauchenden Teile des Körpers verdrängten Flüssigkeit seinem eigenen Gewichte gleich ist (Schwimmen).

**2.** Ist der Gewichtsverlust dem Gewichte gleich ($Q = P$), so wird dem Auftriebe durch den untergetauchten Körper das Gleichgewicht gehalten; der Körper muß also in der Flüssigkeit schweben.

**3.** Ist der Gewichtsverlust kleiner als das Gewicht ($Q < P$), so vermag das Gewicht des Körpers den Auftrieb zu überwinden; der Körper sinkt also unter.

Mit Hilfe eines Maßcylinders (Fig. 100), dessen Teilstriche Kubikcentimeter angeben, kann man sich leicht von der Richtigkeit des folgenden Satzes überzeugen:

Fig. 100.




Das Gewicht der von einem schwimmenden Körper verdrängten Flüssigkeit ist dem Gewichte des Körpers selbst gleich.

(Der schwimmende Körper bestehe etwa aus Wachs.)

**b. Specifisches Gewicht.** Genaue Wägungen ergeben, daß gleiche Raumteile verschiedener Körper je nach der Beschaffenheit ihres Stoffes ein ganz verschiedenes Gewicht haben.

Das Gewicht der Raumeinheit (des 1 ccm) eines Körpers, ausgedrückt in Gramm, nennt man sein specifisches Gewicht.

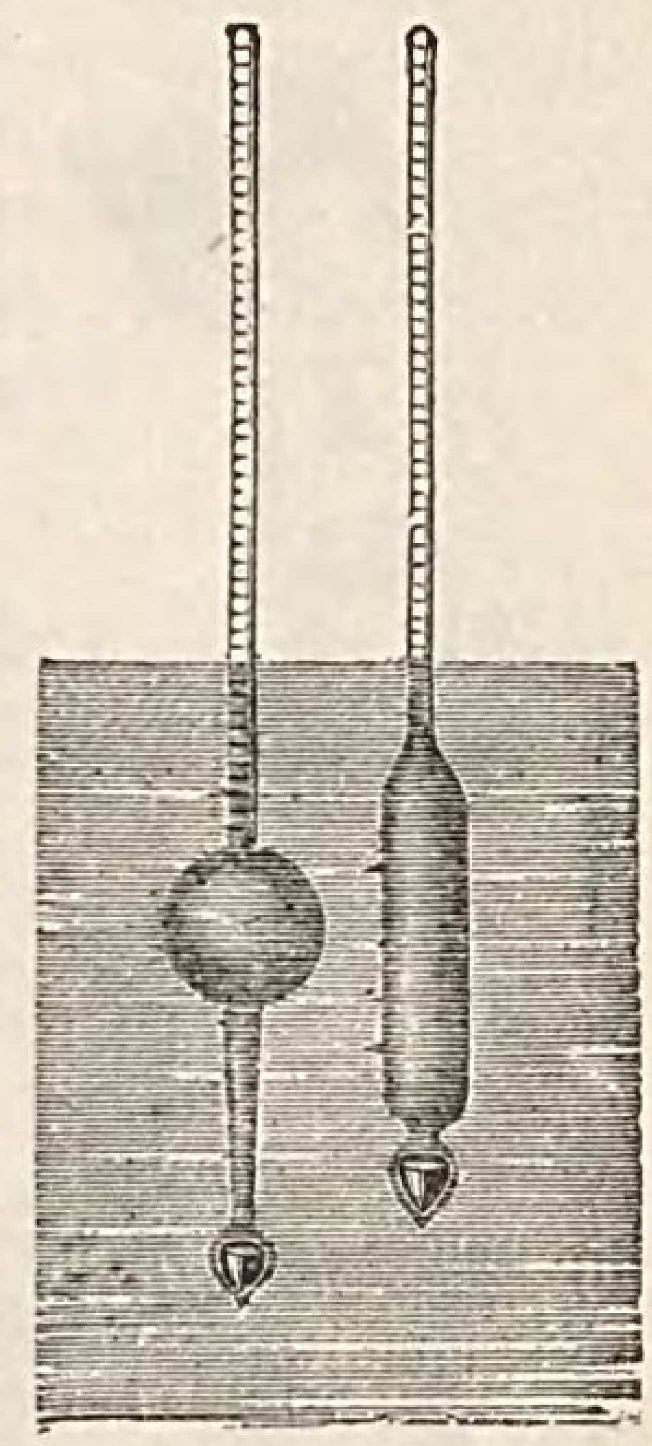
Da 1 ccm reines Wasser 1 g wiegt, so kann man auch sagen: Das specifische Gewicht eines Körpers giebt an, wievielmal so groß das

*absolute Gewicht des Körpers ist, als das Gewicht einer gleichgroßen Raummenge Wasser.*

*Beispiel.* Das specifische Gewicht von Gold ist 19,3, Blei 11,4, Silber 10,5, Kupfer, Messing und Nickel ungefähr 8,5, Eisen, Zinn und Zink 7,5, Fensterglas, Quarz und Kalkstein 2,5, Eis etwa 0,9, Kork 0,2, Quecksilber 13,6.

Das specifische Gewicht eines *festen Körpers* läßt sich demnach in der Weise bestimmen, daß man durch Abwägen des Körpers im Wasser seinen Gewichtsverlust und damit das Gewicht einer dem Körper gleichen Wassermenge ermittelt und dann das absolute Gewicht des Körpers durch den Gewichtsverlust teilt.

Fig. 101.



Um das specifische Gewicht von *Flüssigkeiten* schnell zu bestimmen, benutzt man sogen. **Senkwagen** (Fig. 101) oder **Aräometer.** Diese bestehen aus einer *Glasröhre*, deren unterer Teil cylindrisch, birnförmig oder kugelig erweitert ist. Im Innern der Röhre ist ein in Grade geteilter *Papierstreifen* angebracht. Damit das Instrument in der Flüssigkeit senkrecht schwimmt, ist das untere Ende der Röhre mit *Quecksilber oder Bleischrot* gefüllt. Die *Zahlen der Teilung* geben entweder das specifische Gewicht der Flüssigkeit an, oder sie zeigen in Prozenten an, in welchem Verhältnis zwei Flüssigkeiten miteinander gemischt sind, z. B. wieviel ccm reiner Alkohol in 100 ccm des Gemisches (Alkohol und Wasser) enthalten sind. Man sagt z. B., Spiritus sei 40prozentig, wenn die Senkwage bis zu der Zahl 40 einsinkt.

*Senkwagen, welche das Mischungsverhältnis zweier Flüssigkeiten angeben, sind im praktischen Leben ganz besonders wichtig*, da der Kaufwert gemischter Flüssigkeiten von dem Mischungsverhältnis abhängt. Man bezeichnet sie im allgemeinen als **Prozent-Aräometer.** Je nach der Art der betreffenden Flüssigkeit werden sie *Salzspindeln, Essigspindeln, Alkoholometer* u. s. w. genannt.

---

**Übungsstoff.** 1. Taucht man ein Probiergläschen, das einige Schrotkörner enthält, in W. (Fig. 102), so schwimmt es darin, obgleich Glas und Blei sonst im W. untersinken. Erkl.! (Schiffe mit Ballast, eiserne Schiffe.) — **2.** Befindet sich in einem mit W. gefüllten und mit Tierblase oder Kautschuk verschlossenen Gefäße (Fig. 103) ein hohler, unten offener Schwimmer, so sinkt dieser unter, wenn man auf das W. einen Druck ausübt; läßt der Druck nach, so steigt der Schwimmer wieder nach oben. Erkl.! (Die bisweilen auf Jahrmärkten gezeigten kleinen Taucher haben meist eine menschenähnliche Gestalt: *Cartesianische Taucher.*) — **3.** Fische haben in ihrem Innern eine mit Luft gefüllte Blase (Schwimmblase), die sie verengen und ausdehnen können. Geschieht ersteres, so sinkt der Fisch tiefer im W. ein; geschieht letzteres, so steigt er. Erkl.! — **4.** Wie läßt es sich deuten, daß die Schwimmblase dicht unter dem Rückgrat liegt? — **5.** Warum können vierfüßige Tiere leichter schwimmen als Menschen? — **6.** Erkläre die verschiedenen Arten des Schwimmens (Brust- und Rückenschwimmen) und die Anwendung der Schwimmgürtel. — **7.** Woher kommt es, daß Badende um so tiefer einsinken, je weiter sie die Arme aus dem W. hervorstrecken, und welchen Erfolg muß es haben, wenn man beim Schwimmen tief aufatmet? — **8.** Das am Grunde größerer Flüsse sich bildende Eis hebt beim Aufsteigen oft große Steine mit empor. Erkläre dies. — **9.** Warum müssen in Kähnen Gegenstände von größerem Gewichte möglichst tief gelegt werden? (Ballast der Schiffe.) — **10.** Wie ändert sich der Tiefgang eines Schiffes, wenn es vom Meere in einen Fluß führt? — **11.** Was wird daher in manchen derartigen Fällen mit dem

Fig. 102.

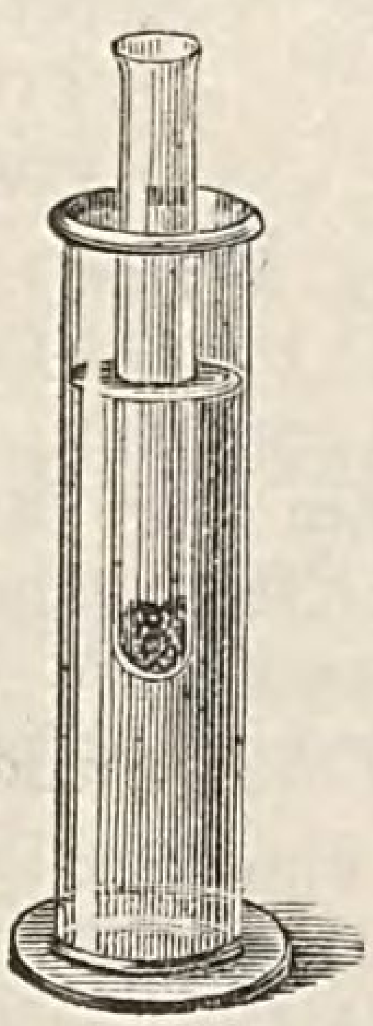
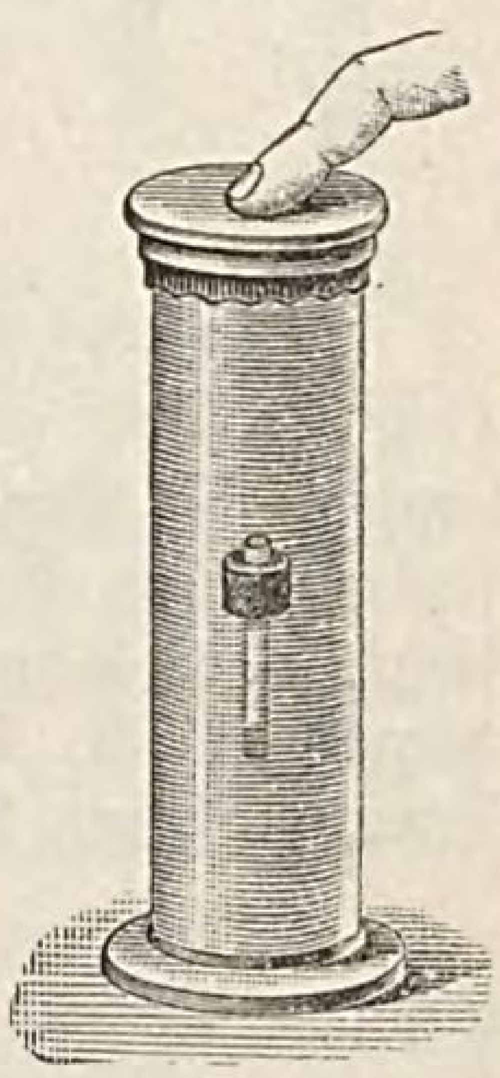


Fig. 103.

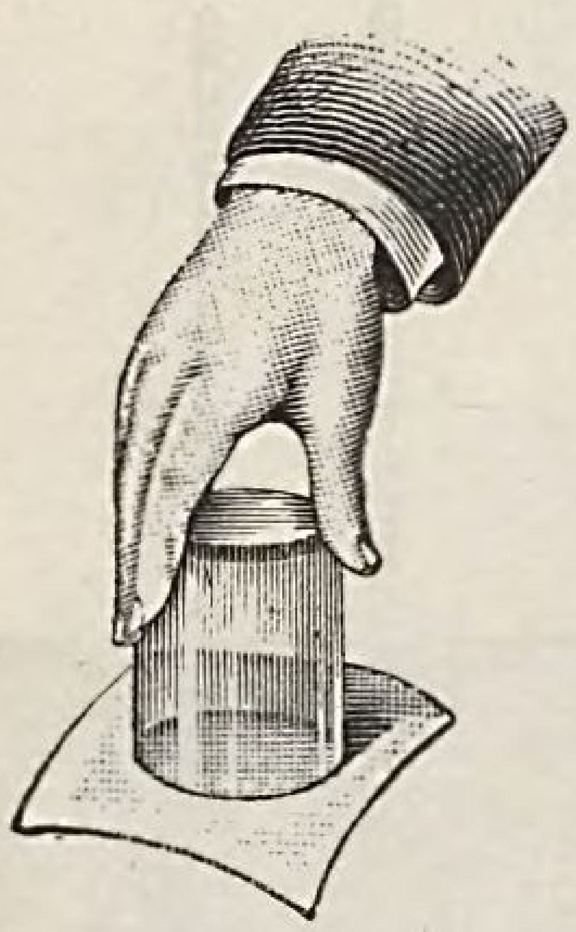


Ballaste geschehen müssen? — 12. Ist ein ganz mit W. gefülltes Gefäß schwerer, ebenso schwer oder leichter als dasselbe Gefäß, wenn irgend ein K. darin schwimmt? Grund!

## C. Von den luftförmigen Körpern.

**§ 32. Druck der Luft. Stechheber.** Die Luft hat mit den Flüssigkeiten außer der Schwere die Eigenschaft gemeinsam, daß ihre Teilchen sehr leicht verschiebbar sind. Daher läßt sich erwarten, daß jeder von Luft umgebene Körper durch diese von allen Seiten einen Druck erleidet, ebenso wie ein in Wasser untergetauchter Körper einem allseitigen Drucke durch das Wasser ausgesetzt ist. Dies wird durch gewisse Erscheinungen bestätigt.

Fig. 104.



So fließt z. B. aus einem ganz mit Wasser gefüllten und darauf mit einem Blatte Papier überdeckten Glase (siehe Fig. 104) das Wasser nicht aus, wenn man das Glas umkehrt und das Blatt während des Umkehrens mit der flachen Hand festhält. Noch auffälliger ist die Erscheinung, daß eine Flüssigkeit aus einem Gefäße mit enger Mündung nicht ausfließt, solange das Gefäß oben verschlossen ist (Stechheber, Fig. 105 und 106). Genaue Beobachtungen lehren:

Fig. 105.

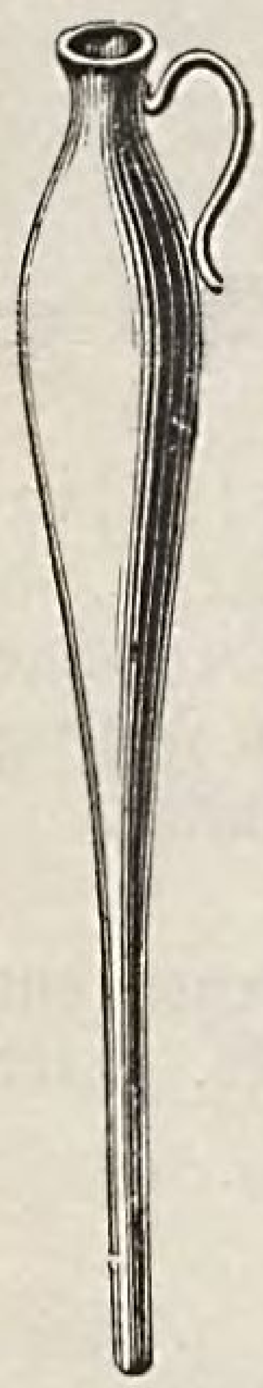
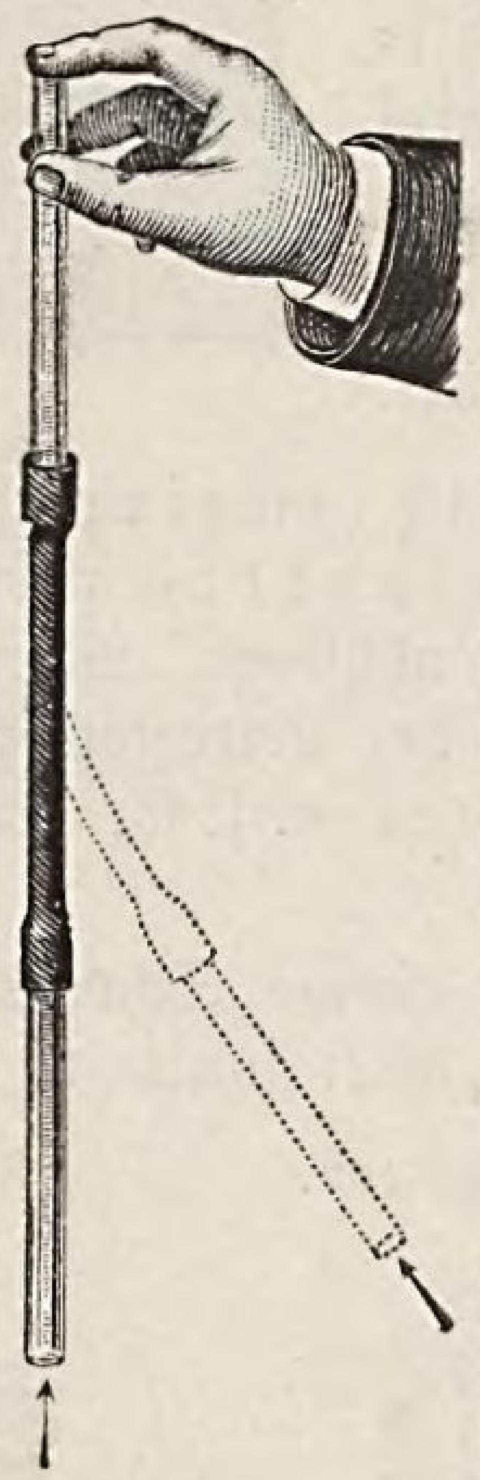


Fig. 106.



Die Luft übt vermöge ihrer Schwere nach allen Seiten einen gleichstarken Druck aus. Der Luftdruck nimmt mit der Höhe ab.

Diese Erscheinungen haben ihren Grund darin, daß die Erde von einer Lufthülle umgeben ist, deren obere Grenze wie die Oberfläche des Meeres kugelförmig sein muß. Man nimmt an, daß diese Lufthülle (Atmosphäre) eine Höhe von etwa 10 Meilen hat. Je höher man (etwa in einem Luftballon) von der Erde aufsteigt, desto geringer ist die von oben drückende Luftmasse.

Wenn vom Luftdrucke schlechthin die Rede ist, so ist stets der Druck der Atmosphäre gemeint. — Daß die Luft einen Druck ausübt, ist erst seit der Mitte des 17. Jahrhunderts bekannt.

Auf dem Drucke der Luft beruhen außer den angeführten noch zahlreiche andere bekannte Erscheinungen: Spärliches Ausfließen beim Abzapfen von Wein und Bier, wenn der Spund der Fässer nicht geöffnet ist, oder beim Ausschänken von Kaffee und Thee, wenn der (nicht durchbohrte) Deckel den Kannen dicht anliegt, oder beim Öffnen eines rohen Eies, wenn nur an einem Ende eine kleine Öffnung hergestellt ist, ferner beim Umkehren der Ölpipetten, z. B. für Nähmaschinen, wenn kein Druck auf den Boden ausgeübt wird.

Daß wir unter den gewöhnlichen Umständen keine Einwirkung des Luftdruckes auf unseren Körper wahrnehmen, erklärt sich dadurch, daß der äußeren Luft durch die im Körper enthaltene das Gleichgewicht gehalten wird. Wo dagegen der Luftdruck einseitig wirkt, z. B. an den Gelenkpfannen der Arm- und Beinknochen, trägt er einen Teil des Gewichtes der Gliedmaßen. Auf hohen Bergen haben die Muskeln beim Heben der Beine eine größere Arbeit zu leisten, als in der Ebene. Warum?

**Übungsstoff.** 1. Erkläre die Vorgänge, die beim Gebrauche des Stechhebers eintreten? — 2. Welchen Zweck hat die bauchige Erweiterung des Stechhebers? — 3. Warum darf der Stechheber erst nach dem Eintauchen oben geschlossen werden? — 4. Was hätte

geschehen müssen, wenn man die Röhre (Fig. 106) vor dem Eintauchen oben verschlossen und nachher den Finger zurückgezogen hätte? — **5.** Was müßte eintreten, wenn man aus einem Gefäße die Luft entfernte und darauf das Gefäß unter W. öffnete? — **6.** Eine Flasche werde unter W. gefüllt und dann umgekehrt herausgehoben. a. Wie lange bleibt die Flasche gefüllt? b. In welcher Weise fließt das W. aus? — **7.** Wie bewirkt man, daß der Inhalt eines Eies aus einer kleinen Öffnung der Schale ausfließt? — **8.** Inwiefern muß beim Abzapfen von Wein und Bier auf den Druck der Luft Rücksicht genommen werden? — **9.** Kaffee- und Theekannen haben im Deckel gewöhnlich ein kleines Loch; w.? — **10.** Bei Deckeln, an denen ein solches Loch fehlt, ist bisweilen ein leises Klappern hörbar, während die Flgk. ausfließt. Erkl.! — **11.** Große Geldstücke kann man an eine glatte Wand oder dergl. schlagen, so daß sie hängen bleiben. Erkläre dies. — **12.** Ein an den Rand eines Tisches gelegtes Blatt Papier, unter das man ein dünnes Brettchen so gelegt hat, daß dies zum Teil über den Rand des Tisches hervorragt, läßt sich durch einen kräftigen Schlag auf den vorstehenden Teil des Brettes nicht heben. Grund!

---

**§ 33. Druck eingeschlossener Luft. Saugheber. Zerstäubungsapparat.** Der Druck, den eingeschlossene Luft vermöge der Schwere ausübt, kann im Verhältnis zum Drucke der freien Luft nur sehr gering sein (warum?). Da alle luftförmigen Körper ausdehnsam sind (§ 1), so verhalten sie sich wie eine elastische Feder oder ein gespannter Bogen. Wie diese, sich selbst überlassen, infolge ihrer Spannung einen oft sehr bedeutenden Druck auszuüben imstande sind, so müssen auch luftförmige Körper vermöge jener Eigenschaft einen Druck ausüben können, der von ihrem Gewichte unabhängig ist. Dies giebt sich am leichtesten zu erkennen, wenn die Wand des Gefäßes dem Drucke nachgiebt, indem das Gefäß mehr und mehr mit Luft gefüllt oder die Luft aus der Umgebung entfernt wird. Gummi- und Seifenblasen z. B. dehnen sich aus, wenn sie mit Luft gefüllt werden, oder wenn man sie in ein Gefäß bringt, aus dem man die Luft heraussaugt.

Die Größe des Druckes eingeschlossener Luft ändert sich mit der Vergrößerung und Verkleinerung des Raumes, den sie einnimmt. Schiebt man z. B. den Stempel einer Knallbüchse tiefer in die Büchse hinein, so vermag die eingeschlossene Luft den Pfropfen oft weit fortzuschleudern; ist der Stempel sehr leicht bewegbar und verschließt er den Hohlraum luftdicht, so schnellt er jedesmal durch den Druck der äußeren Luft wieder zurück, wenn man ihn rasch herauszieht und dann losläßt; der Druck der eingeschlossenen Luft muß daher im ersteren Falle zu-, im letzteren abgenommen haben.

Eingeschlossene luftförmige Körper üben infolge ihrer Ausdehnsamkeit einen allseitigen Druck aus, der mit der Verkleinerung des Raumes zu- und mit der Vergrößerung desselben abnimmt. Dieser Druck wird **Spannung** genannt.

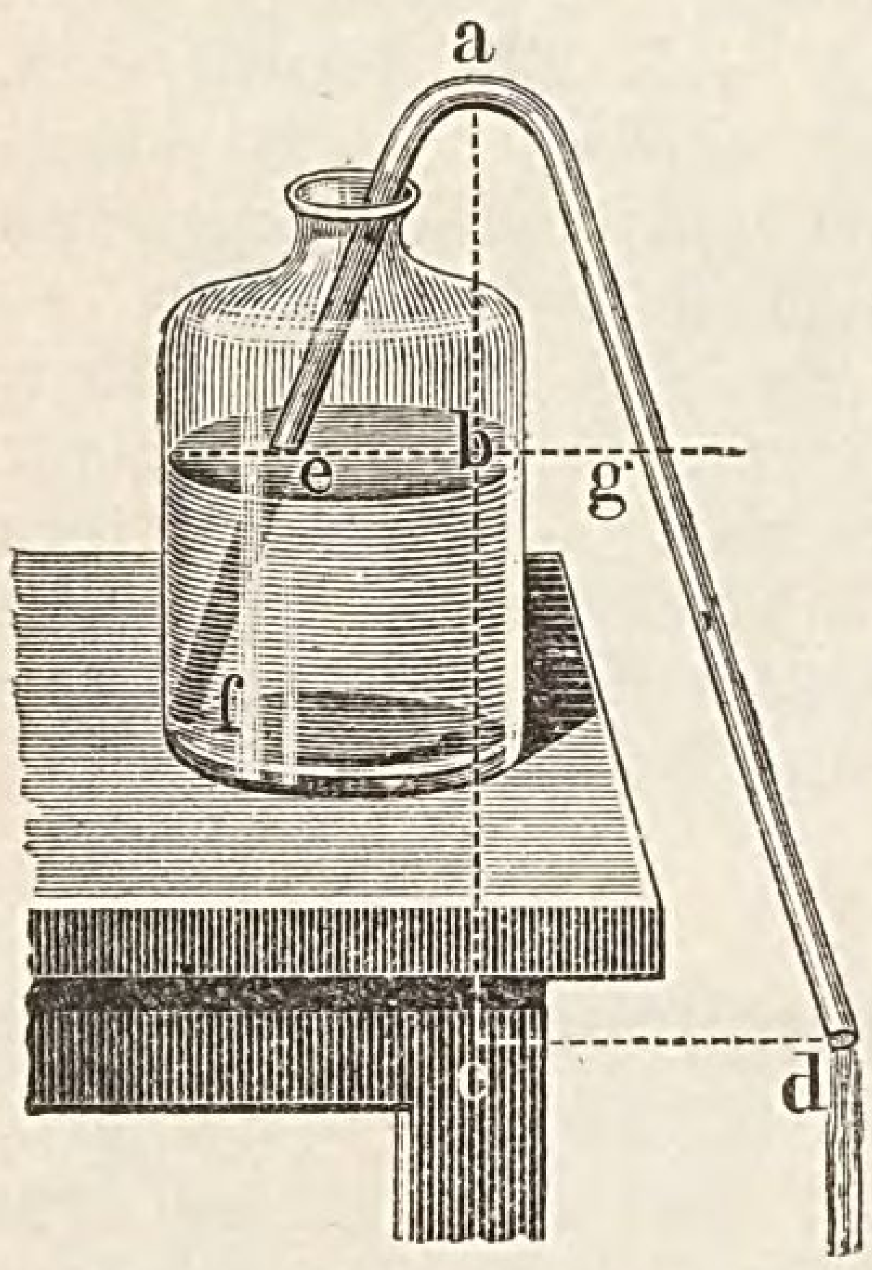
Strömt ein luftförmiger Körper aus einem leicht beweglichen Gefäße mit genügender Kraft aus, so wird dieses durch Rückwirkung (Reaktionsdruck) nach rückwärts getrieben (vergl. Fig. 90). Raketen z. B. steigen durch die Rückwirkung mit großer Geschwindigkeit nach oben, wenn die Pulvergase heftig nach unten ausströmen.

Auf der Verkleinerung des Druckes eingeschlossener Luft beruht es, daß Wasser in einer Röhre durch den Druck der freien Luft hinaufsteigt, wenn man die Röhre mit ihrem einen Ende eintaucht und durch Ansaugen mehr und mehr Luft aus ihr entfernt. Dieses Verfahren findet namentlich beim Saugheber eine nützliche Anwendung.

Der **Saugheber** (Fig. 107, folg. Seite) besteht aus einer knieförmig gebogenen und überall gleichweiten Röhre, die mit ihrem kürzeren Schenkel in die zu hebende Flüssigkeit eingetaucht und darauf durch Saugen mit

dem Munde luftleer gemacht wird. Die Flüssigkeit steigt dann im eingetauchten Schenkel hinauf und fließt durch den äußeren Schenkel aus.

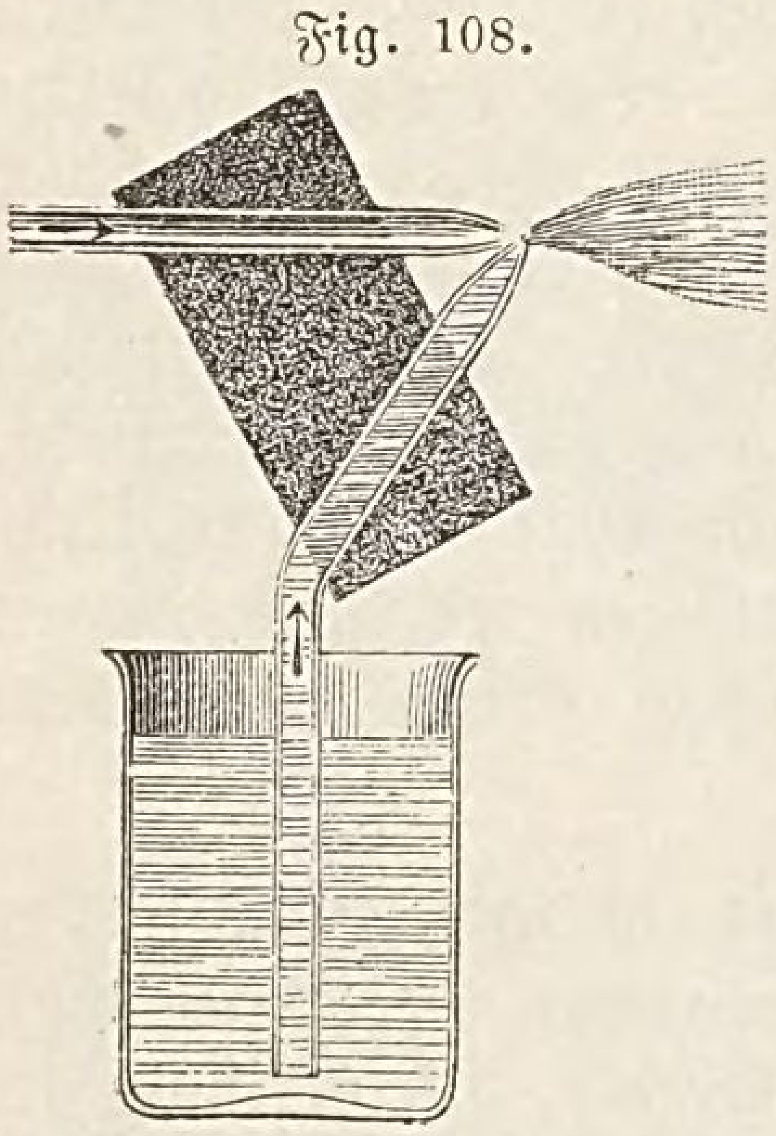
Fig. 107.




Das Ausfließen erfolgt nur so lange, als die Mündung des äußeren Schenkels tiefer liegt als der Flüssigkeitsspiegel im Gefäße, denn nur so lange wirkt dem gegen die Mündung des äußeren Schenkels gerichteten hemmenden Luftdrucke ein größerer Wasserdruck (Wasser im äußeren Schenkel) entgegen, als dem gegen den Flüssigkeitsspiegel gerichteten treibenden Luftdrucke (Wasser im eingetauchten Schenkel).

**Zerstäubungsapparat.** Bei den sogen. Zerstäubungsapparaten, deren man sich zum Benetzen von Zimmerpflanzen, zum Zerstäuben wohlriechender Flüssigkeiten u. s. w. häufig bedient, kommt der Druck der äußeren Luft dadurch zur Wirkung, daß man über die Mündung einer kurzen aufrechten Röhre, die in die Flüssigkeit eingetaucht wird, einen kräftigen Strom von Luft oder Wasserdämpfen hinwegtreibt (Fig. 108). Indem dieser aus seiner Umgebung — also auch aus der eingetauchten Röhre — Luft mit fortreißt, steigt die Flüssigkeit in der Röhre durch den Druck der äußeren Luft und fliegt, sobald sie vom Luft- oder Dampfstrome erfaßt wird, in feinen Tröpfchen auseinander.

Fig. 108.



Bei Zerstäubungsapparaten, die dazu dienen, gewisse Arzneimittel so fein zu zerteilen, daß sie eingeatmet werden können, erzeugt man mittelst eines kleinen Kochapparates einen Strom heißer Wasserdämpfe, die das Zerstäuben der Flüssigkeit bewirken (Inhalationsapparate).

---

**Übungsstoff.** 1. Wie ist es zu erklären, daß sich eine in W. getauchte Handspritze beim Zurückziehen des Stempels mit W. füllt? — 2. Erkläre das Saugen, Trinken und Tabakrauchen durch die Wirkung des Luftdruckes. — 3. Wie kann man bewirken, daß kleine, an einem Ende geschlossene Röhren (hohle Federhalter, Fingerhüte u. dgl.) mit ihrem offenen Ende an der Zunge oder Lippe festhaften? — 4. Was wird eintreten, wenn man eine leere Flasche in der Ebene luftdicht verschließt und sie dann auf einem hohen Berge rasch öffnet? — 5. Geschütze erleiden beim Abfeuern einen Rückstoß. Erkl.! — 6. Worin stimmt ein Stechheber mit einem Saugheber überein, und wodurch unterscheiden sie sich voneinander hinsichtlich a. ihrer Gestalt, b. ihrer Anwendung? — 7. Warum braucht ein Saugheber nicht bauchig erweitert zu sein wie ein Stechheber? — 8. Mittelst eines Saughebers soll eine Flgk. aus einem Gefäße in ein anderes gehoben werden. Welche Lage muß hierbei der Boden des leeren Gefäßes gegen den Spiegel der Flgk. haben, u. w.? — 9. Wodurch läßt sich das Ausfließen der Flgk. beim Saugheber verstärken und wodurch ganz aufheben? — 10. Angenommen, der Spund eines Fasses sei so eng oder das Faß schon so weit leer, daß die Flgk. nur bis an die bauchige Erweiterung des Hebers reiche. Wie hat man dann zu verfahren, damit sich der Heber doch noch ganz füllt?

---

**§ 34. Saugpumpe und Saugdruckpumpe.** Beide Pumpen sind Vorrichtungen, die dazu dienen, Wasser durch Auf- und Abbewegung eines Kolbens mit Hilfe des Luftdruckes zu heben.

Die **Saugpumpe** (Fig. 109, folg. Seite) besteht aus Saugrohr, Stiefel und Kolben. Das Saugrohr ist eine hölzerne oder eiserne Röhre (S), die in das Wasser des Brunnens hinabreicht und unten durch eine siebförmige Platte, oben durch ein Ventil (Bodenventil, V) verschlossen ist. Letzteres besteht entweder aus einer Klappe (Fig. 110, folg. Seite), oder aus einem hohlen Messingkegel

(Fig. 111). — Auf dem Saugrohre steht der sogen. Stiefel, d. h. eine Röhre (AB), in der ein luftdicht anliegender, durchbohrter Kolben (K) auf- und abbewegt werden kann. — Der Kolben enthält ebenfalls ein Ventil (Kolbenventil), das sich wie das Bodenventil nach oben öffnet. Über dem Kolben ist am Stiefel ein Ausflußrohr (R) befestigt.

Fig. 109.

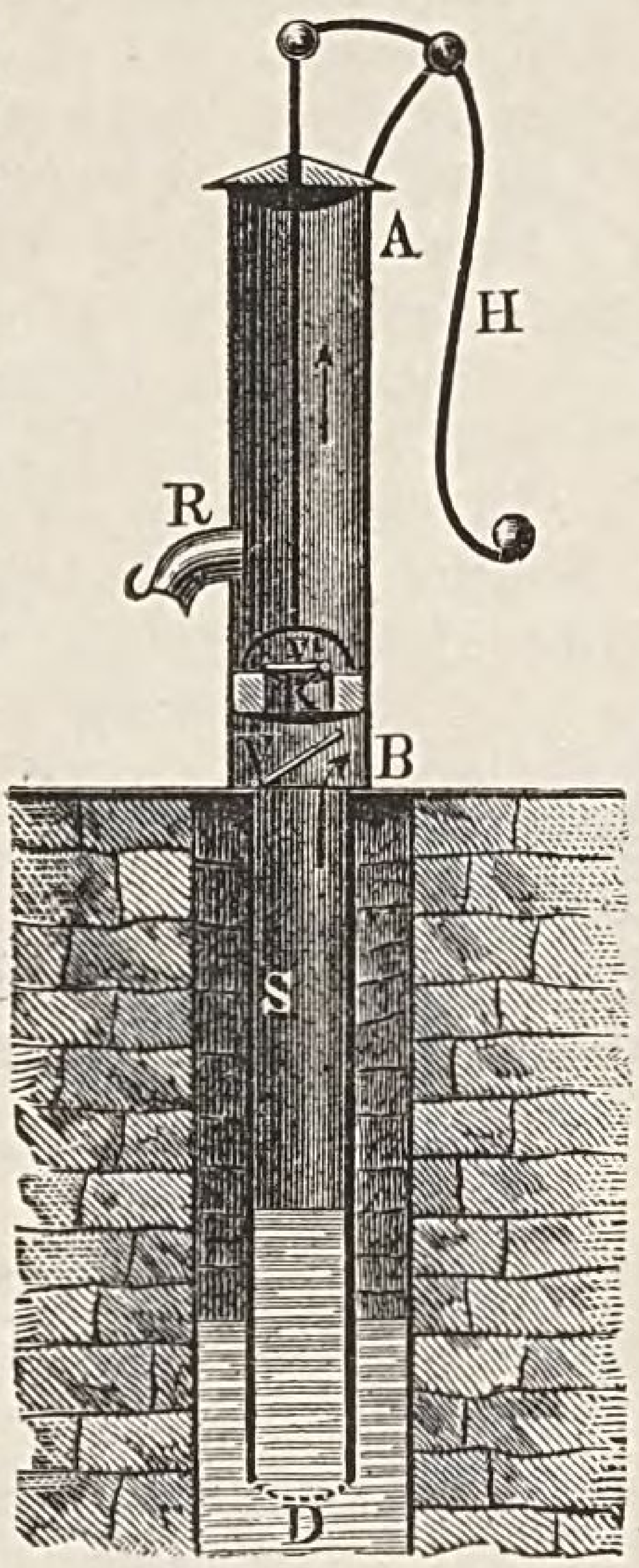
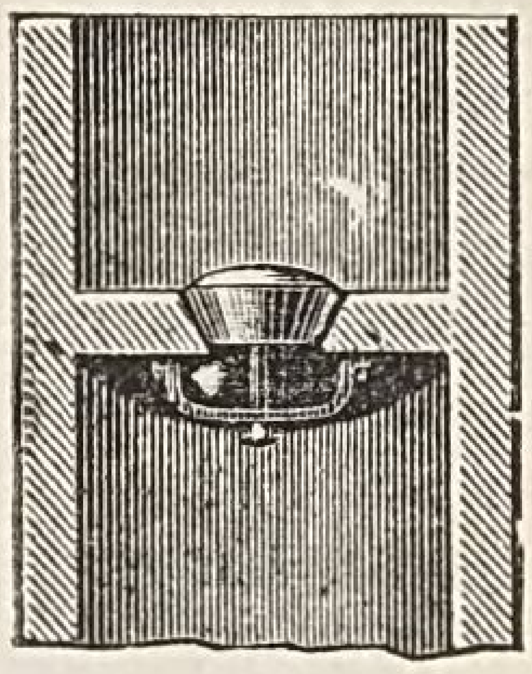



Fig. 111.



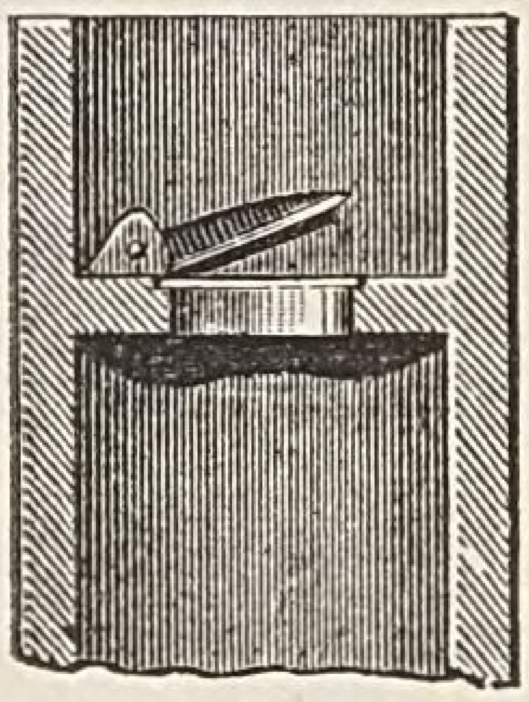


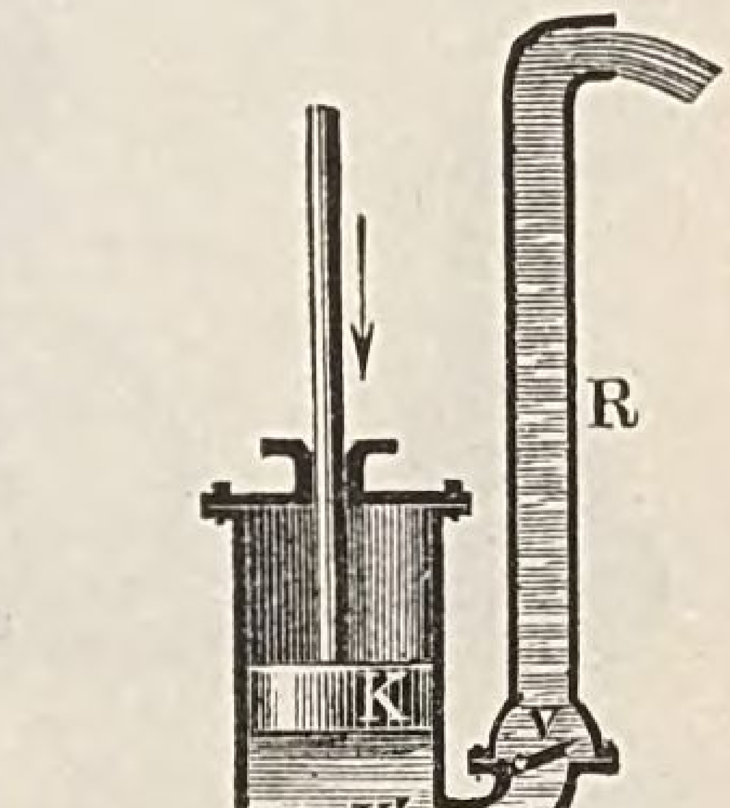
Fig. 110.

Das Öffnen und Schließen beider Ventile erfolgt abwechselnd. Wird der Kolben heraufgezogen, so öffnet sich das Bodenventil und das Kolbenventil ist geschlossen; wird er hinuntergeschoben, so schließt sich das Bodenventil und das Kolbenventil öffnet sich u. s. f. Hierbei steigt das Wasser immer höher in der Pumpe hinauf.

Zur Erklärung nehme man an, das Wasser stehe in der Röhre anfangs so hoch wie im Brunnen. Wird dann der Kolben in die Höhe gezogen, so folgt die abgesperrte Luft vermöge ihrer Ausdehnsamkeit dem Kolben, hebt das Ventil ein wenig und füllt bei jeder Kolbenstellung den vergrößerten Raum aus. Dadurch nimmt der Druck, den die abgesperrte Luft ausübt, ab; mithin kann das Wasser durch den Überdruck der äußeren Luft im Rohre gehoben werden. Das durch die Öffnung im Kolben hindurchgedrungene Wasser wird vom Kolben gehoben.

Die Erfahrung lehrt, daß sich das Bodenventil einer Saugpumpe höchstens 6—7,5 m über dem Wasserspiegel im Brunnen befinden darf, da sonst der Luftdruck nicht ausreicht, das Wasser im Rohre bis zum Kolben zu heben. Diese Beobachtung gab im 17. Jahrhundert in Italien Veranlassung zur Entdeckung des Luftdruckes durch Torricelli (spr. Torritschelli). Bis dahin hatte man das Steigen des Wassers in den Hebern und Pumpen dadurch zu erklären versucht, daß man annahm, die Natur habe einen „Abscheu vor dem leeren Raume."

Fig. 112.




Die **Saugdruckpumpe** (Fig. 112) enthält außer dem Saug- und Pumpenrohre noch ein Steigrohr (R), d. h. ein Rohr, das nahe über dem Bodenventile am Stiefel befestigt ist und den Zweck hat, das Wasser nach hoch gelegenen Stellen, z. B. in die oberen Stockwerke der Häuser, zu leiten. Der Kolben der Saugdruckpumpe ist nicht durchbohrt. Das durch den Luftdruck in den Stiefel gehobene Wasser wird durch den Druck, den der Kolben bei seinem Niedergange nach unten auf das Wasser ausübt, in das Steigrohr getrieben. (Spiel der Ventile?)

Druckpumpen werden nicht nur benutzt, um Wasser nach hoch gelegenen Stellen zu fördern, sondern überhaupt in allen Fällen, in denen der Fortbewegung des Wassers im Steigrohre ein sehr starker Druck entgegenwirkt, also z. B. zum Speisen der Windkessel von Feuerspritzen und der Dampfkessel von Dampfmaschinen. Bei ersteren muß der Gegendruck der eingeschlossenen Luft, bei letzteren der Druck der Dämpfe überwunden werden. Druckpumpen werden ferner angewendet, um Dampfkessel und Wasserleitungsröhren auf ihre Festigkeit zu prüfen.

**Übungsstoff.** 1. Worin stimmt die Einrichtung einer Saugpumpe mit der einer Druckpumpe überein? — 2. Wodurch unterscheiden sich beide Pumpen voneinander? — 3. Welchen Zweck hat die siebförmige Platte unter dem Saugrohre? — 4. Warum müssen die Kolben einer Pumpe möglichst dicht schließen? — 5. Kegelventile (Fig. 111) werden hohl gemacht; w.? — 6. Welcher mech. V. und welcher mech. N. entsteht durch die Anwendung eines Pumpenschwengels? — 7. In trockenen Sommern werden Pumpen bisweilen „lahm". Was bezeichnet dieser Ausdruck, und wie ist die Ersch. zu erklären? — 8. Wie kann man solche Pumpen wieder brauchbar machen? — 9. Welche von den beiden Pumpen fördert das W. nur beim Aufgange, welche aber auch beim Niedergange des Kolbens? — 10. Welche Pumpe erfordert daher zu ihrem Gebrauche bei sonst gleichen Verhältnissen mehr Kraft? — 11. Warum wendet man trotzdem für geringe Höhen Saugpumpen an? — 12. Warum ist es vorteilhaft, die Stiefel der Pumpen ziemlich weit zu machen? — 13. Warum braucht das Saugrohr nicht auch so weit zu sein? — 14. Inwiefern hängt die Schnelligkeit, mit der das W. im Saugrohre aufsteigt, von der Weite dieses Rohres ab? — 15. Warum müssen Druckpumpen im allgemeinen dichter und stärker gearbeitet sein als Saugpumpen? — 16. Warum muß bei einem sehr tiefen Brunnen oder Schachte der Stiefel einer Pumpe in den Brunnen- oder Schachtraum hinabreichen? — 17. Auf welche Weise läßt sich (nach §§ 33 und 34) bewirken, daß eine Flgk. in einer Röhre durch den Druck der äußeren Luft aufsteigt? — 18. Bei welchem der früher beschriebenen Apparate kommt der Luftdruck zur Anwendung, ohne daß ein Aufsteigen der Flüssigkeit dadurch bewirkt wird?

---

**§ 35. Heronsball und Feuerspritze. Blasebalg.** Das einfachste Verfahren, eine Flüssigkeit durch den Druck eingeschlossener Luft in einer Röhre zu heben, besteht darin, daß man die Luft, die den Raum über der Flüssigkeit im Gefäße ausfüllt, durch Hineinblasen mit dem Munde verdichtet.

Ein luftdicht verschlossenes Gefäß, das zum Teil mit Wasser gefüllt ist und ein von außen bis in die Flüssigkeit hinabreichendes Rohr enthält, wird **Heronsball** genannt (Fig. 113).

Fig. 113.



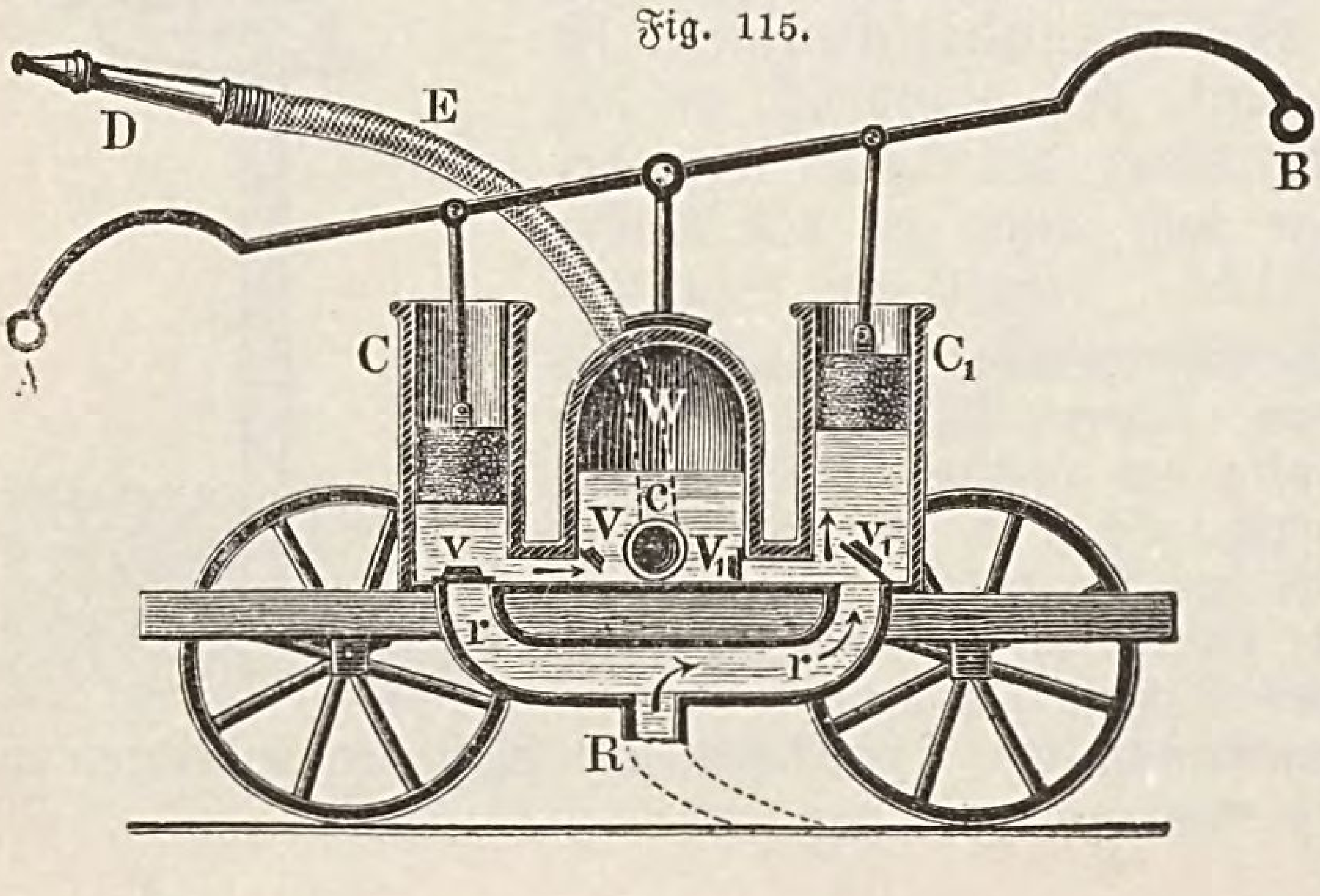
Fig. 114.



Fig. 114 stellt einen Heronsball dar, der ein besonderes Rohr zum Hineinblasen von Luft enthält: Spritzflasche. Des bequemen Gebrauches wegen pflegt man die Röhre, die zum Hineinblasen der Luft dient, stumpfwinklig nach oben, die zugespitzte Röhre dagegen spitzwinklig nach unten zu biegen.

Die Erfindung des Heronsballes ist in der Zeit Herons von Alexandrien (etwa um 100 v. Chr.) gemacht worden, während Saug- und Druckpumpen schon früher bekannt waren. Zwei durch ein Rohr verbundene Druckpumpen dienten bei den Römern als Feuerspritzen.

Fig. 115.



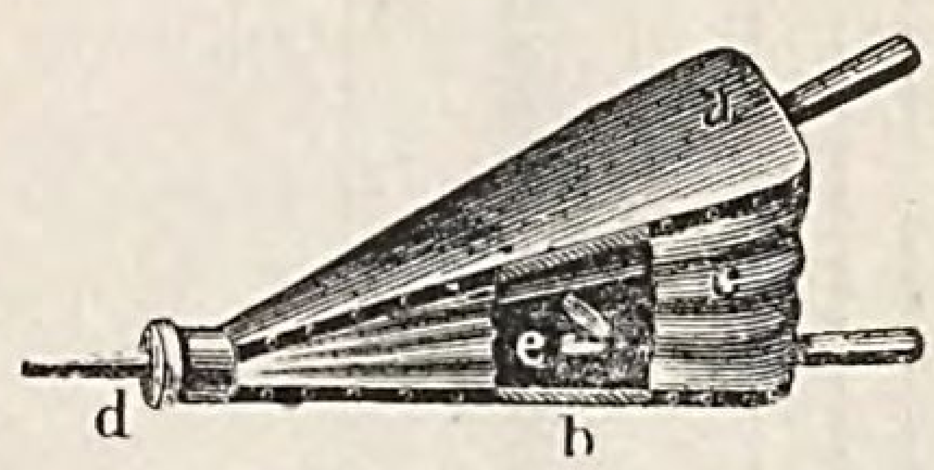

Durch eine zweckmäßige Verbindung der Druckpumpe mit dem Heronsballe entsteht die **Feuerspritze** (Fig. 115). Bei dieser wird durch eine oder zwei Saugdruckpumpen (C und $C_1$) das Wasser in einen geschlossenen Behälter (Windkessel, W) getrieben, der unten seitlich zum Anschrauben eines Schlauches (E) mit

einem Rohransatze (c) versehen ist. Da die im Kessel enthaltene Luft nicht entweichen kann, so wird sie durch das eindringende Wasser verdichtet. Die verdichtete Luft treibt dann wie bei einem Heronsballe das Wasser in einem ununterbrochenen Strahle durch den Schlauch hinaus.

Die Vereinigung der Druckpumpe und des Heronsballes zu einer Feuerspritze war den Alten unbekannt und ist erst viel später (vielleicht im 17. Jahrh.) erfunden worden.

Im täglichen Leben kommen sehr häufig Luftverdichtungs-Apparate zur Anwendung, durch die nicht ein Wasserstrahl, sondern ein Luftstrom erzeugt werden soll. Der bekannteste ist der zum Anfachen des Feuers dienende **einfache Blasebalg** (Fig. 116). Er besteht aus zwei Brettern, die durch einen in Falten gelegten ledernen Balg (c) zu einem luftdichten Behälter verbunden sind. Das Brett a kann auf- und abbewegt werden, das andere (b) ist (auf der Innenseite) mit einem Klappenventile (e) versehen. (Zweck des Ventils?) Zum Entweichen der Luft ist vorn eine eiserne Röhre angebracht.

Fig. 116.



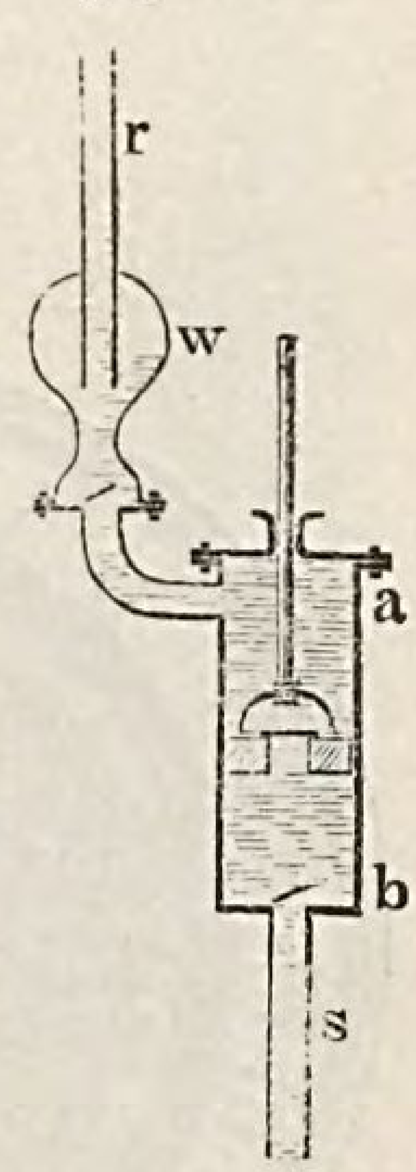

Zur Anfachung des Feuers in Hochöfen, Werkstätten u. s. w. werden zusammengesetzte Gebläse von sehr verschiedener Einrichtung angewandt.

Ein ähnlicher Vorgang, wie ihn der einfache Blasebalg zeigt, findet beim Atmen statt. Beim Einatmen erweitert sich der Brustkorb und die Lungen, daher wird die in diesen enthaltene Luft dünner und die äußere Luft dringt vermöge ihrer größeren Spannkraft ein. Beim Ausatmen zieht sich der Brustkorb zusammen, wodurch sich die in den Lungen enthaltene Luft verdichtet und, den Druck der äußeren Luft überwindend, ausströmt.

---

**Übungsstoff.** 1. Warum muß in einem Heronsballe die Luft verdichtet werden, ehe das W. ausströmt? — 2. In welchem Teile der Feuerspritze kommt der Druck der freien Luft, in welchem dagegen der Druck eingeschlossener Luft zur Wirkung? — 3. Wie bewegen sich die Ventile (Fig. 115), wenn die Spritze in Thätigkeit ist? — 4. Vergl. die Einrichtung der Pumpen einer Feuerspritze mit der in Fig. 112 dargestellten Pumpe. — 5. Saug- und Steigrohr der Feuerspritze bestehen aus einem dehnbaren Stoffe; warum wohl? — 6. Eine kleine Druckpumpe soll durch einen Gummischlauch mit einer Spritzflasche so verbunden werden, daß ein Apparat entsteht, der wie eine Feuerspritze wirkt. Wie ist dies auszuführen? — 7. Welcher Teil der Feuerspritze (Fig. 115) bildet einen Hebel? (Mech. V. und mech. N.!) — 8. Inwiefern ist die Höhe, bis zu welcher der Strahl einer Feuerspritze aufsteigt, von der Verdichtung der Luft im Windkessel abhängig? — 9. Warum muß die Kesselwand eine bestimmte Stärke haben? — 10. Damit das W. bei einer mit Steigrohr versehenen Pumpe möglichst gleichmäßig abfließt, versieht man das Steigrohr mit einem Windkessel (w, Fig. 117). Warum kann bei dieser Einrichtung in der Saughebepumpe das W. auch während des Kolbenniederganges im Steigrohre aufsteigen? — 11. Bei welchen der in §§ 33—35 beschriebenen Apparate kommt der Druck der freien Luft, bei welchen dagegen der Druck eingeschlossener Luft zur Wirkung? — 12. Bei welchen Apparaten finden beide Wirkungen zugleich statt? — 13. In welchen Fällen muß der Wirkung des Apparates eine Verdünnung, in welchen dagegen eine Verdichtung der Luft oder beides zugleich vorhergehen? — 14. Bei welchen Apparaten wird dies durch mechanische Vorrichtungen und bei welchen einfach durch den Mund bewerkstelligt?

Fig. 117.




---

**§ 36. Barometer.** Um den Luftdruck bequem messen zu können, wendet man besondere Instrumente an: Barometer.

Das **Gefäßbarometer** (Fig. 118, folg. Seite) besteht aus einer U förmig gebogenen und mit Quecksilber gefüllten Glasröhre, deren einer Schenkel bedeu-

tend kürzer ist als der andere. Der kurze Schenkel ist *gefäßförmig erweitert und offen*, damit die Luft auf das Quecksilber einwirken kann. Der lange Schenkel ist *geschlossen* und über dem Quecksilber befindet sich ein *luftleerer Raum*. An der Röhre ist ein in cm geteilter Maßstab angebracht, auf dem der Barometerstand, d. h. die Höhe der von der Luft im Gleichgewichte gehaltenen Quecksilbersäule, abgelesen werden kann. Neben dem Maßstabe befinden sich gewöhnlich kurze Angaben über die Beschaffenheit des *Wetters* (Fig. 119). Genaue Beobachtungen lehren:

Fig. 118.

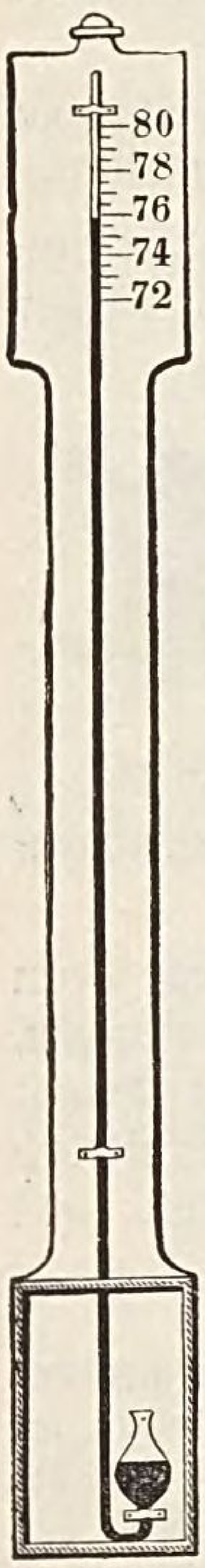
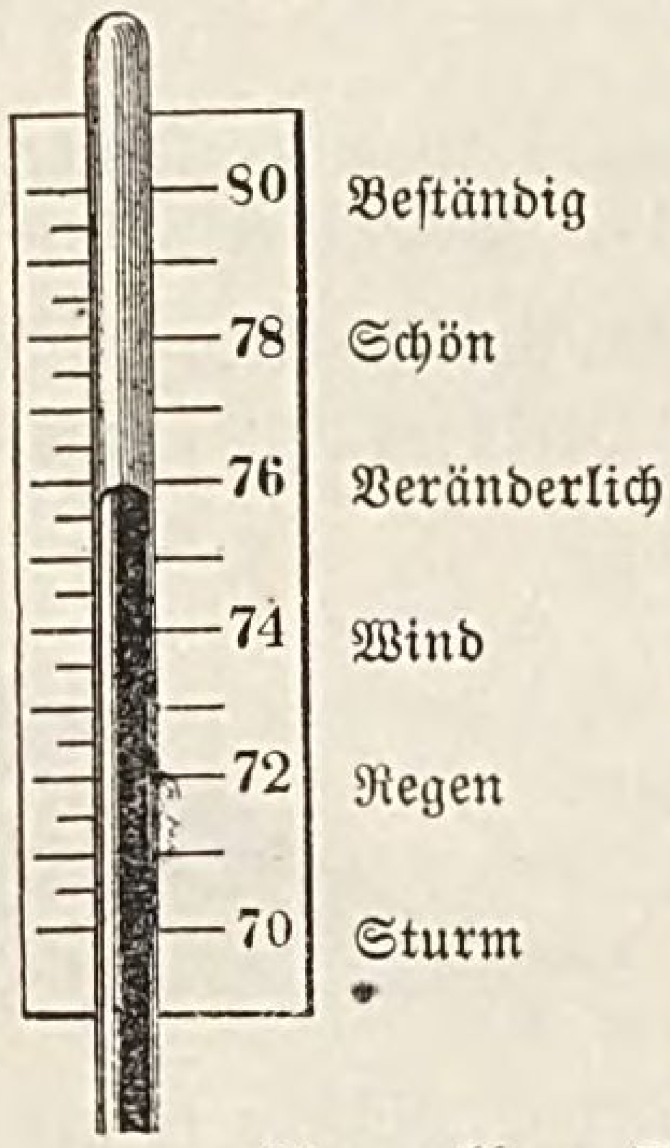



Fig. 119.

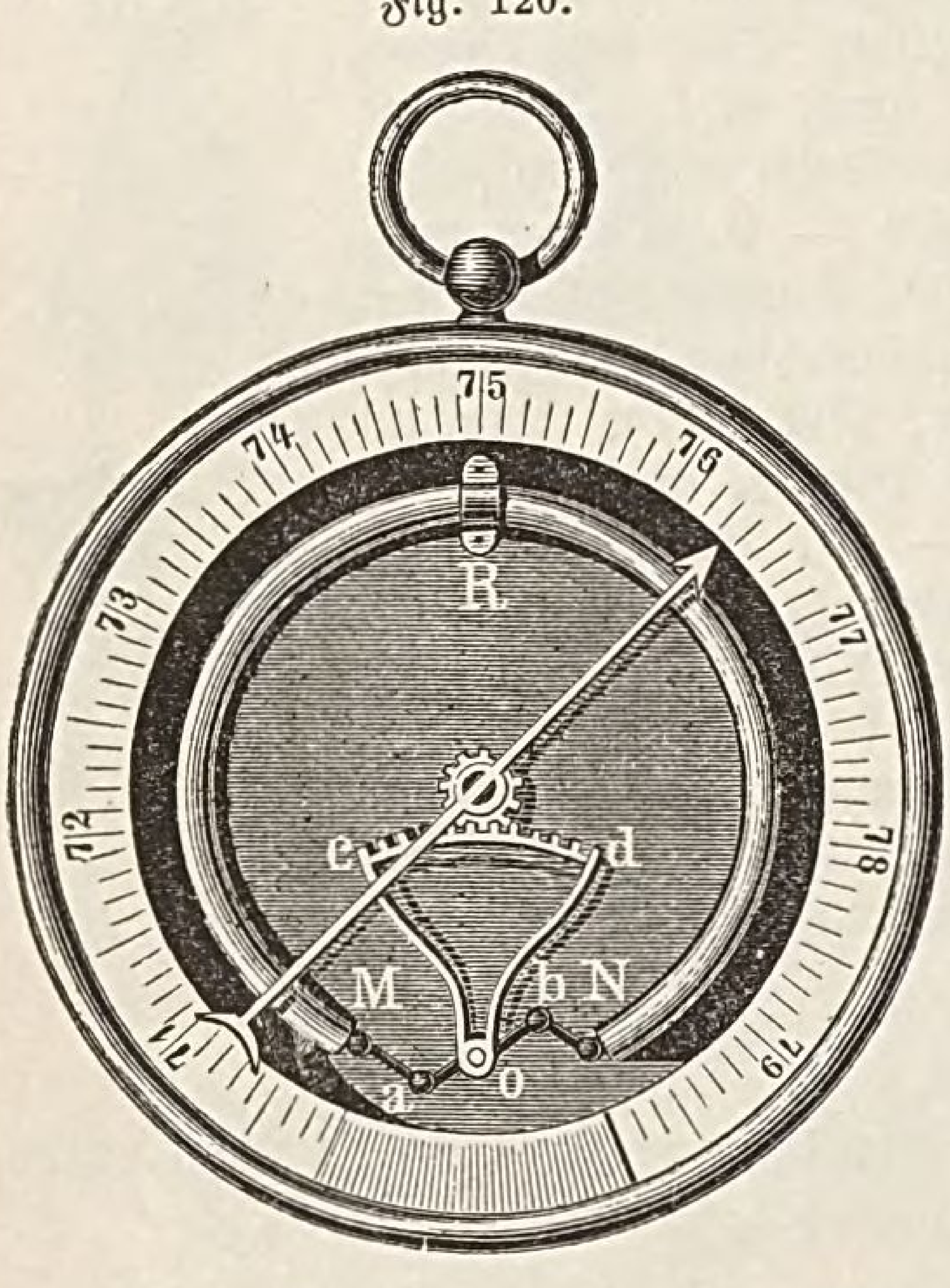



Der mittlere Druck der Atmosphäre ist in Meereshöhe gleich dem Drucke einer 76 cm hohen Quecksilbersäule; er beträgt demnach ungefähr 1 kg auf 1 qcm.

An allen Orten, welche höher liegen als der Meeresspiegel, ist der mittlere Luftdruck geringer als 76 cm. Die Abnahme beträgt bei der gewöhnlichen Temperatur 1 mm, wenn der Ort etwa 11 m höher, beinahe 2 mm, wenn er 2 × 11 m höher liegt u. s. w. Bei weiteren Steigungen um je 11 m nimmt der Luftdruck jedes folgende Mal etwas weniger ab als das vorhergehende Mal.

Daß das Barometer zugleich als *Wetteranzeiger* benutzt werden kann, hat in folgendem seinen Grund: Das Wetter ändert sich mit der Windrichtung, und diese steht in engem Zusammenhange mit dem Luftdrucke. In den westeuropäischen Ländern bringt der *Südwind* warmes Wetter, der *Westwind* gewöhnlich Regen oder Schnee, der *Nordwest-* und *Nordwind* rauhes, kaltes Wetter, der *Nordost-* und *Ostwind* im Sommer trockene Wärme und im Winter trockenen Frost. In diesen Ländern ist der Barometerstand im allgemeinen bei Südwestwind am niedrigsten, bei Nordostwind am höchsten, das *Steigen des Barometers* kündigt gewöhnlich eine Drehung des Windes über Norden nach der östlichen Richtung, das *Fallen* eine Drehung über Süden nach der westlichen Richtung an.

Fig. 120.




Gefäßbarometer geben den Barometerstand *ungenau* an, da bei ihnen die Änderungen, welche der Stand des Quecksilbers im Gefäße erleidet, unberücksichtigt bleiben, und da sich die Kapillarwirkungen (§ 7) wegen der ungleichen Weite der Schenkel nicht ausgleichen. Die hierdurch entstandenen Fehler sind jedoch so gering, daß sie unberücksichtigt bleiben können, wenn es sich nicht um genaue Beobachtungen des Luftdruckes handelt.

Zu *genauen* Messungen werden Barometer angewandt, deren beide Schenkel überall gleichweit sind: **Heberbarometer.**

Das **Aneroid-** oder **Metallbarometer** besteht aus einer *dünnwandigen, luftleeren Metall-Dose* oder *-Röhre* (MRN, Fig. 120); sie ist in einem metallenen Gehäuse befestigt und mit einem Hebelwerke so verbunden, daß bei jeder Veränderung des Luftdruckes ein Zeiger gedreht wird, der die Größe des Luftdruckes in cm nach einer Einteilung angiebt, die durch Vergleichung mit einem Quecksilberbarometer gewonnen wird.

Aneroidbarometer sind für geringe Schwankungen des Luftdruckes äußerst empfindlich; wegen der etwaigen Änderungen der Elasticität des Metalles ist jedoch von Zeit zu Zeit ein Vergleich mit einem guten Quecksilberbarometer erforderlich.

Der mittlere Barometerstand beträgt auf dem Brocken in 1145 m Höhe 660 mm, auf dem St. Gotthard in 2380 m nur 567 mm.

---

**Übungsstoff.** 1. Wenn man ein Gefäßbarometer vorsichtig umkehrt, so schlägt das Qu. mit hellem Klange gegen das Ende der Röhre. Was kann man daran erkennen? — 2. Warum muß das Qu. vollständig luftfrei sein? — 3. Warum darf der kurze Schenkel nicht geschlossen sein? — 4. Welcher Teil der Quecksilbersäule wird von der Luft getragen? — 5. Angenommen, man befestigte auf dem kurzen Schenkel einen Gummischlauch und entfernte durch Ansaugen desselben einen Teil der Luft; was müßte dies zur Folge haben? — 6. Was dagegen, wenn man durch Hineinblasen die Luft über dem Qu. im offenen Schenkel verdichtete? — 7. Um wv. ist das Qu. im kurzen Schenkel eines Heberbarometers gefallen, wenn es im langen Schenkel 5 mm gestiegen ist? — 8. Um wv. hat sich in diesem Falle der Barometerstand geändert? — 9. Um wv. ist das Qu. im Gefäße eines Barometers gefallen, wenn es in der Röhre um 5 mm gestiegen ist und das Gefäß in der Höhe des Qu.-Spiegels einen 100 mal so großen inneren Querschnitt hat als die Röhre? — 10. Wv. beträgt dann die wirkliche Änderung des Barometerstandes? — 11. Wv. ferner, wenn das Qu. um 5 mm gefallen wäre? — 12. Die Kuppe des Qu. im langen Schenkel ist gewölbt. Diese Wölbung nimmt zu, wenn das Qu. steigt, und ab, wenn es fällt. Wie kann man sich dies bei den Beobachtungen zu nutze machen? — 13. An den meisten Barometern befindet sich an dem Maßstabe ein quer gerichteter, verschiebbarer Zeiger. Welchen Zweck hat derselbe? — 14. Warum ist es nicht erforderlich, das Barometer außerhalb des Gebäudes aufzuhängen? — 15. Was für Wetter ist zu erwarten, wenn der Luftdruck etwa bei Westwind andauernd zunimmt? — 16. Was dagegen, wenn er bei Ostwind andauernd abnimmt? — 17. Eine wie hohe Wassersäule kann durch die Luft im Glgew. gehalten werden? — 18. In welcher Weise überträgt sich die Bewegung der Metallröhre des Barometers, Fig. 120, auf den Zeiger?

---

## § 37*. Luftpumpen. Luftballon.

**a. Luftverdichtungspumpen.** Sie bestehen im wesentlichen aus einem hohlen Metallcylinder, dem Stiefel, in dem ein Kolben auf- und abbewegt werden kann (Fig. 121 und 122). Das untere Ende des Cylinders ist zum Anschrauben an das zu füllende Gefäß mit einem Gewinde versehen und enthält ein Ventil, das sich nach außen öffnet. Je nachdem atmosphärische Luft oder ein anderes Gas verdichtet werden soll, befindet sich am oberen Ende des Cylinders eine seitliche Öffnung (Fig. 121), oder am unteren ein Ansatzrohr mit einem sich nach innen öffnenden Ventile (Fig. 122). Dieses Rohr dient dazu, den Cylinder mit dem Gasbehälter zu verbinden.

Fig. 121.

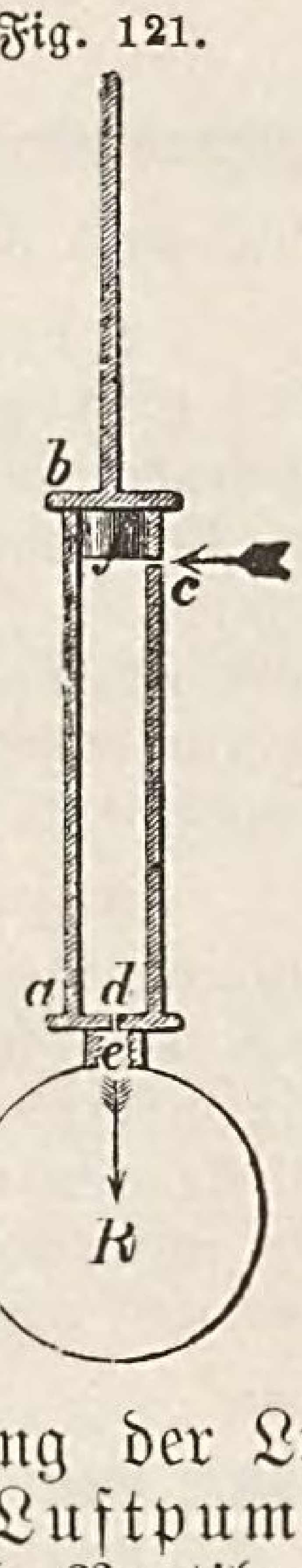
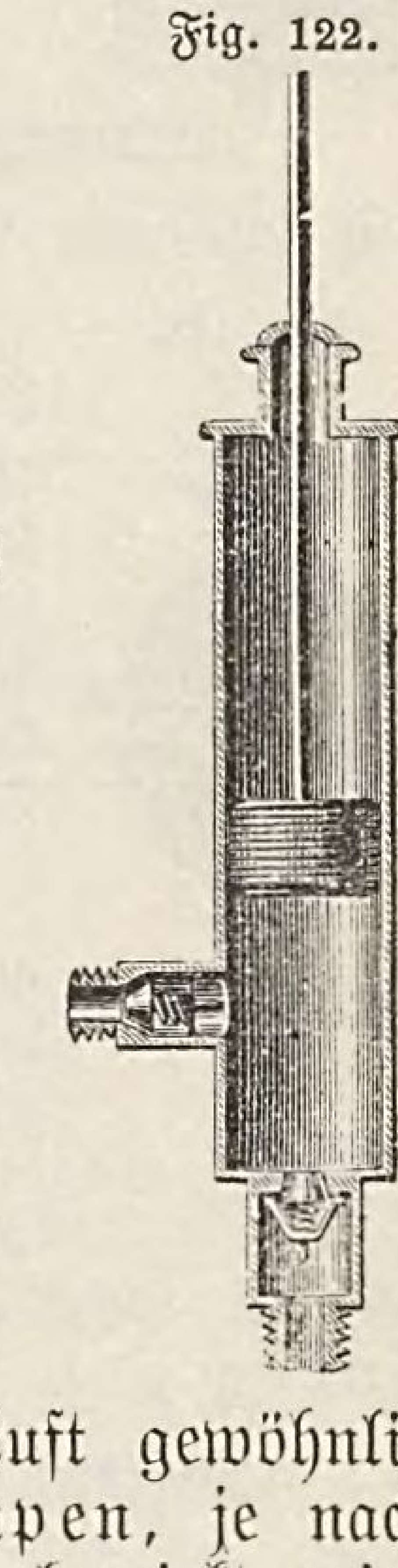



Fig. 122.



Allgemein bekannt ist die Verwendung verdichteter Luft beim Gebrauche von Windbüchsen. Verdichtungspumpen finden außerdem eine nützliche Anwendung zur Zuführung frischer Luft in die Taucherglocken, zur Herstellung kohlensäurereicher Getränke, sowie zur Beförderung von Briefen und Packeten in unterirdischen Röhren (Rohrpost, z. B. in Berlin, London). In neuerer Zeit wird verdichtete Luft benutzt, um die Stoßbohrer von Steinbohrmaschinen in Bewegung zu setzen (Bohrung des Montcenis- und Gotthard-Tunnels), sowie um in Werkstätten Maschinen zu treiben (Druckluft).

**b. Luftverdünnungspumpen.** Die zur Verdünnung der Luft gewöhnlich benutzten Pumpen sind entweder Hahn- oder Ventil-Luftpumpen, je nachdem die Absperrung der Luft durch Hähne oder durch Ventile bewirkt wird. Man nennt sie kurz Luftpumpen.

Die wesentlichsten Teile einer **Hahn-Luftpumpe** (Fig. 123 und 124) sind: 1) ein hohler Cylinder oder Stiefel mit Kolben (K), 2) das zu leerende

Fig. 123.

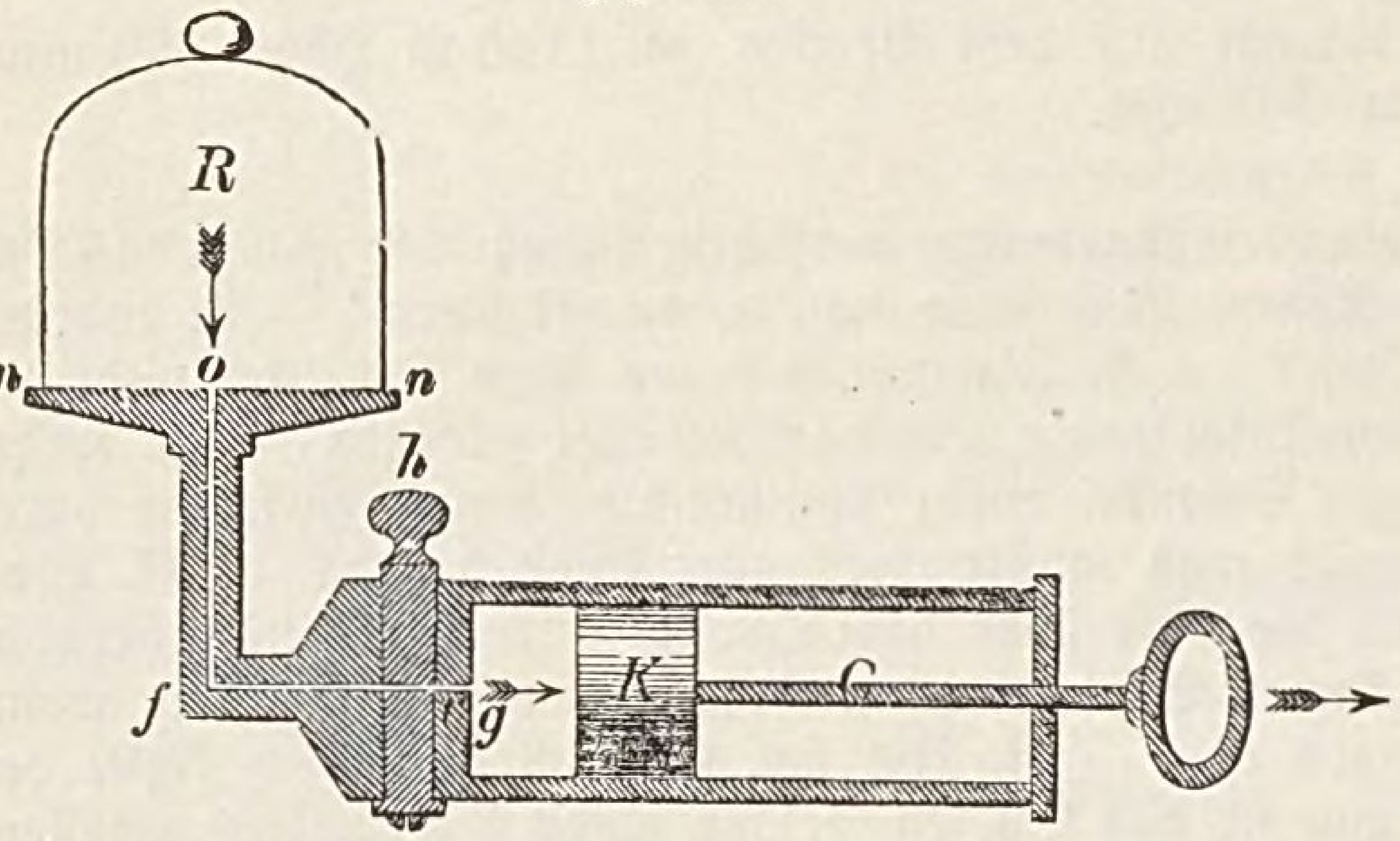
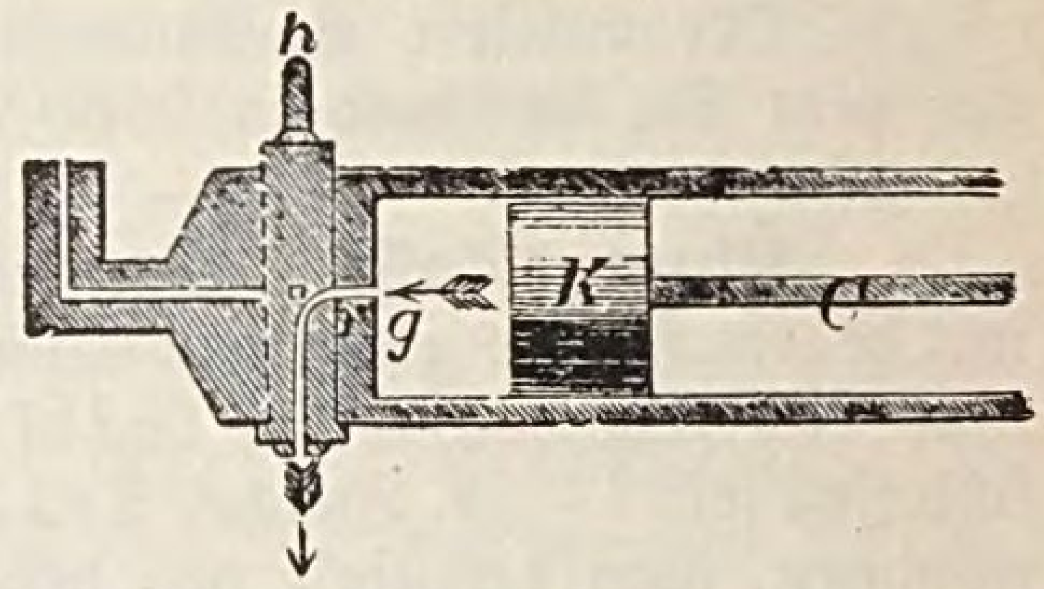
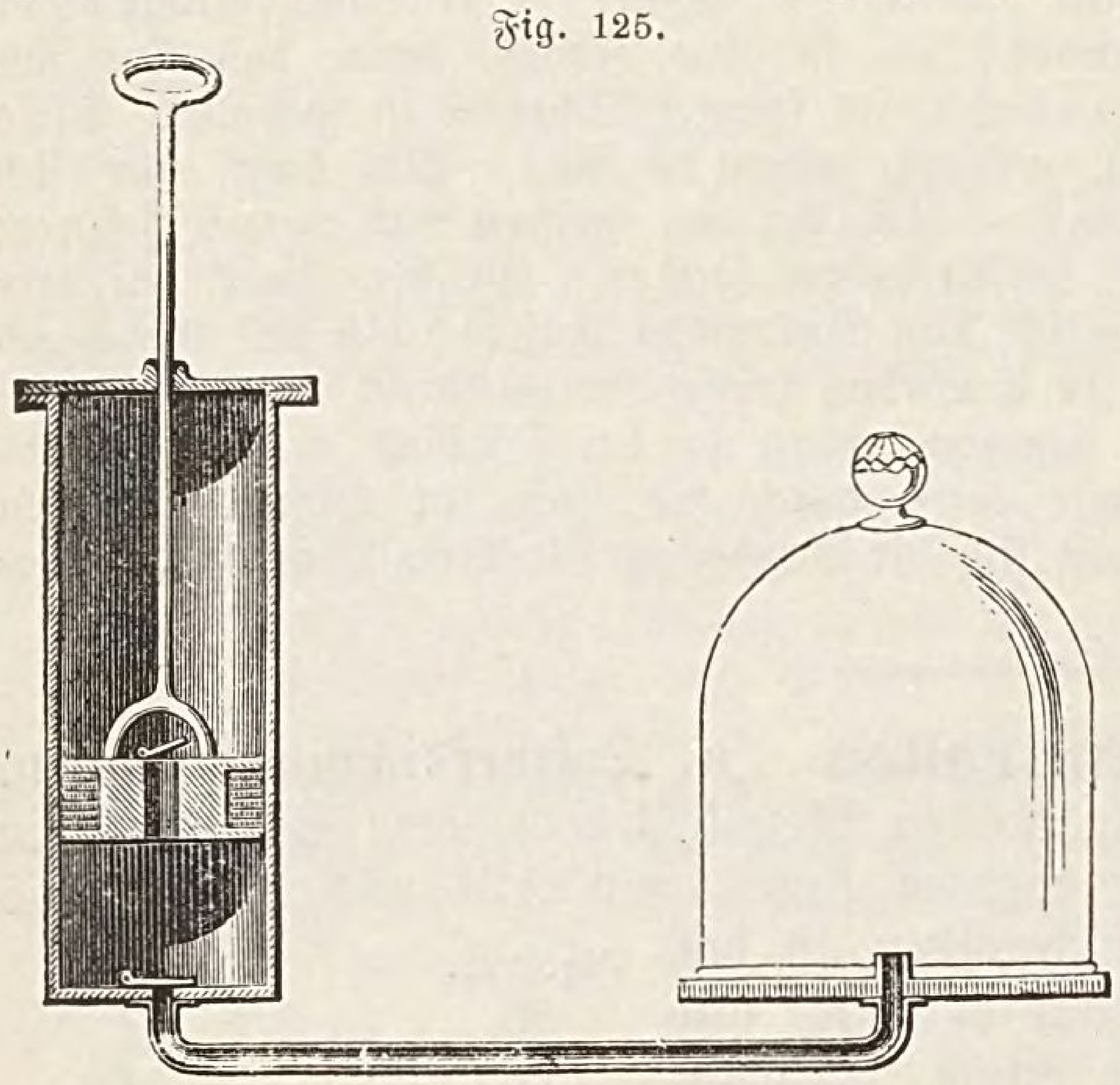



Fig. 124.




Gefäß (R), Recipient genannt, 3) die Verbindungsröhre (ofg) zwischen Stiefel und Recipient und 4) mehrere Hähne. — Bei der einfachsten Einrichtung enthält die Hahn-Luftpumpe nur einen Hahn (h), der im Verbindungsrohre dicht unter dem Stiefel angebracht und zweifach durchbohrt ist. Die eine Durchbohrung (Fig. 123) geht quer durch den Hahn und verbindet beim Aufgange des Kolbens den Stiefel mit dem Recipienten; die andere Durchbohrung (Fig. 124) ist rechtwinklig zur ersten und hat den Zweck, den Stiefel beim Niedergange des Kolbens mit der äußeren Luft zu verbinden. Bei jeder Kolbenbewegung muß der Hahn umgestellt werden.

Fig. 125.



Bei der **Ventil-Luftpumpe** (Fig. 125) sind die Hähne durch 2 Ventile ersetzt, von denen sich das eine im Kolben befindet. Beide öffnen und schließen sich wie die Ventile einer Saugpumpe.

Fig. 126.



Otto von Guericke, Bürgermeister von Magdeburg, der Erfinder der Luftpumpe, benutzte zwei große, genau aufeinander passende, hohle Halbkugeln von Metall (Fig. 126), um auf dem Reichstage zu Regensburg 1654 dem Kaiser Ferdinand III., sowie den übrigen versammelten Herren einen Beweis für den Druck der Luft und eine Vorstellung von der Größe desselben zu geben. Er machte zu diesem Zwecke die Hohlkugeln nahezu luftleer. 16 Pferde vermochten die beiden Halbkugeln, deren Durchmesser etwa $\frac{1}{2}$ m betrug, nicht voneinander zu trennen.

Mit einer Luftpumpe läßt sich außer der Größe des Luftdruckes auch die Ausdehnsamkeit der Luft nachweisen (Gummiballon, der sich unter dem Recipienten aufbläht), desgl., daß alle Körper im luftleeren Raume gleichschnell fallen, ferner daß dieser den Schall nicht leitet, eine Glocke also unter dem Recipienten ihren Ton verliert, daß Flüssigkeiten im luftverdünnten Raume schon bei niedriger Temperatur sieden, daß ein Licht ohne Luft nicht brennt, daß Tiere ohne Luft nicht leben können u. s. w.

**Luftballon.** Wie das Wasser einen Teil des Gewichtes eingetauchter Körper trägt, so daß sie emporsteigen, wenn sie leichter sind, als die von ihnen verdrängte Wassermenge, so erleiden auch in der Luft alle Körper einen Auftrieb.

Ist ein Körper leichter als die von ihm verdrängte Luftmenge, so steigt er in der Luft empor. Hieraus erklärt sich das Emporsteigen des Rauches, sowie der erwärmten Luft (Zug in Lampencylindern und Schornsteinen).

Die Gebrüder Montgolfier ließen (1783) einen mit erwärmter Luft gefüllten Ballon emporsteigen. Gewöhnlich füllt man den Luftballon, dessen Hülle aus luftdicht gemachtem Seidenzeuge besteht, mit Leuchtgas, das etwa halb so schwer ist als Luft. Unter dem Ballon wird eine leichte Gondel angebracht, welche den Luftfahrer aufnimmt. Der Luftballon findet eine nützliche Anwendung zu wissenschaftlichen Beobachtungen in den höheren Luftschichten, sowie neuerdings auch zu Kriegszwecken.

---

**Übungsstoff.** 1. Eine Hahnluftpumpe kann sowohl zum Verdünnen, als zum Verdichten der Luft benutzt werden; w.? — 2. Welche Änderung muß dabei mit dem Recipienten vorgenommen werden? — 3. Warum kann eine Ventilluftpumpe nicht auch zu beiden Zwecken gebraucht werden? — 4. Was deuten in Fig. 123 und 124 die Pfeile an? — 5. Wodurch unterscheidet sich nach dem Pumpen die im Gefäße R (Fig. 123) eingeschlossene Luft von der äußeren Luft? — 6. Bei welchem Apparate wird Ähnliches ohne Kolben bewirkt? — 7. Welchen Vorteil hat die Anwendung des Kolbens? — 8. Bei einer Verdichtungspumpe erfordert während des Arbeitens der Niedergang, bei einer Verdünnungspumpe der Aufgang des Kolbens immer mehr Kraft. Erkl.! — 9. Welche Vorsicht hinsichtlich der Stärke der Gefäßwand muß namentlich bei Verdichtungspumpen angewandt werden? — 10. Wie bewegen sich die Ventile der Luftverdünnungspumpe (Fig. 125) a. beim Aufgange, b. beim Niedergange des Kolbens? — 11. Vergl. diese Bewegungen mit denjenigen, welche die Ventile einer Saugpumpe ausführen? — 12. Nach längerem Pumpen erfolgt bei einer Luftverdünnungspumpe der Niedergang des Kolbens von selbst. Grund! — 13. Ein Qu.-Barometer werde auf den Teller der Luftpumpe unter einen Recipienten von genügender Höhe gestellt. a. Welche Ersch. würde dann beim Pumpen eintreten? b. Wie ließe sich danach die Brauchbarkeit der Luftpumpe beurteilen? — 14. Die Qu.-Säule sei hierbei von 76 auf 10 cm gesunken. Wie stark hat dann der Druck der verdünnten Luft abgenommen? — 15. Warum muß ein Luftballon durch Auswerfen von Ballast erleichtert werden, wenn er in den höheren Luftschichten noch steigen soll?

---

# 3. Abschnitt.

# Vom Schalle.

---

**§ 38. Erregung und Fortpflanzung des Schalles.** Wir hören die Töne der musikalischen Instrumente, den Knall der Geschütze, die verschiedensten Geräusche, wie das Rasseln der Wagen, das Heulen des Windes, das Plätschern des Wassers, das Rollen des Donners u. s. w.

Alle Sinneseindrücke, die wir mit unserem Gehöre wahrnehmen, werden als **Schall** bezeichnet. Einen Schall von bestimmter Höhe oder Tiefe nennt man **Ton.** Ist ein Schall kurz und kräftig, so wird er **Knall** genannt. Eine unregelmäßige, rasche Folge von Schallen verschiedener Stärke heißt **Geräusch.**

Das Verfahren, welches wir anwenden, um eine Saite, einen Stab, eine Stimmgabel, eine Glocke oder dergl. zum Tönen zu bringen, läßt erkennen, daß sich der den Schall erregende Körper im Zustande der Bewegung befindet. Diese Bewegungen sind besonderer Art, wie sich durch Versuche (Fig. 127 bis 131)

nachweisen läßt; sie bestehen im wesentlichen darin, daß sich der den Schall erzeugende Körper sehr schnell hin- und herbewegt.

Fig. 127.

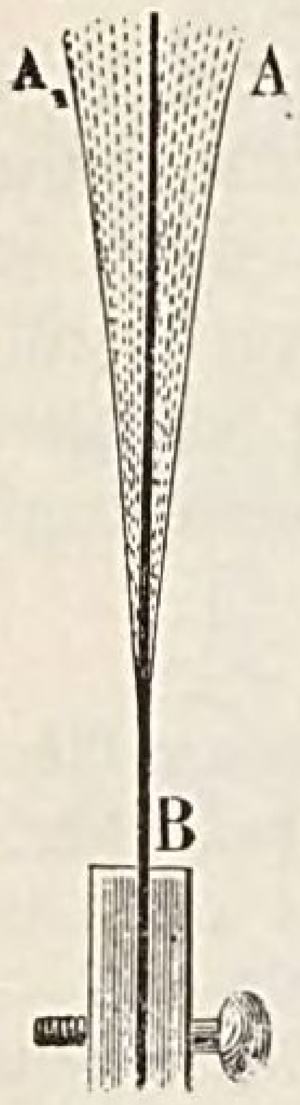



Fig. 128.

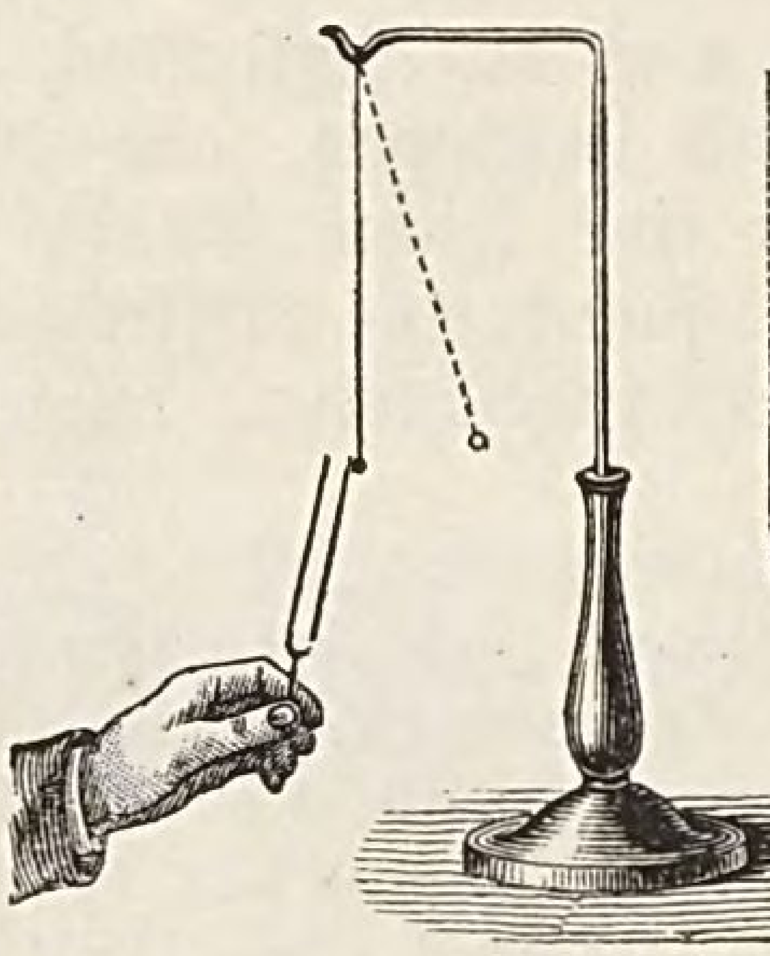


Fig. 129.

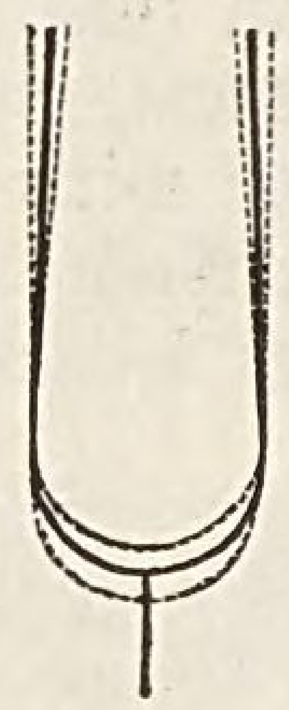


Fig. 130.

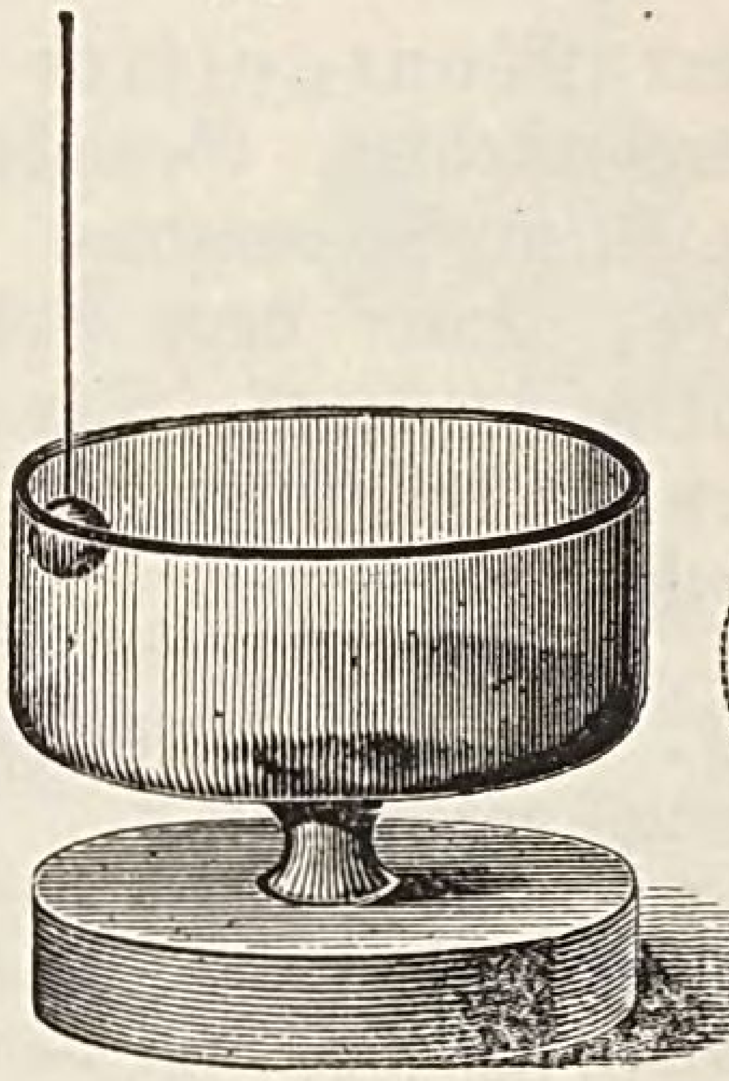
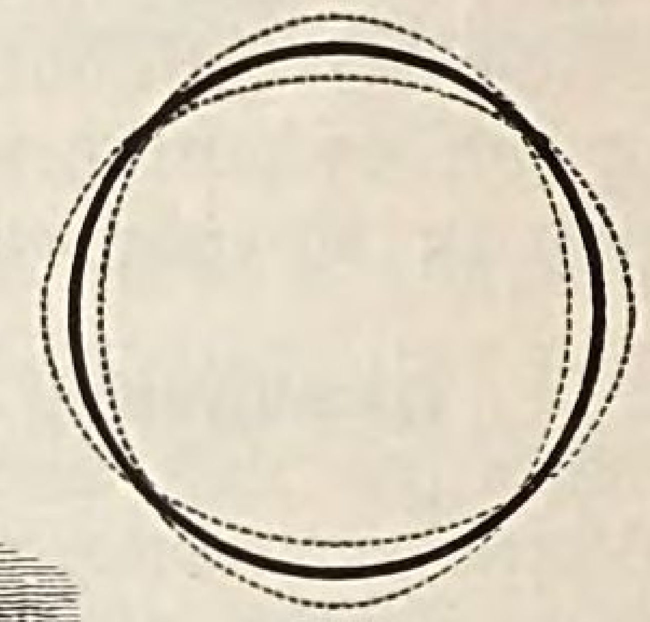


Fig. 131.



Der Schall wird durch schnell aufeinander folgende Schwingungen eines elastischen Körpers hervorgerufen; diesen bezeichnet man als den **Schallerreger.**

Da ein Schall in der Luft von allen Seiten gehört werden kann, so gilt der Satz:

In der Luft pflanzt sich der Schall nach allen Richtungen fort.

Die Linien, welche die Richtungen angeben, in denen sich ein Schall fortpflanzt, heißen **Schallstrahlen.**

Wie die Luft, so vermögen auch feste und flüssige Körper den Schall fortzupflanzen. So ist z. B. das Ticken einer Taschenuhr sehr deutlich zu hören, wenn man das Ohr auf die Tischplatte hält, auf der die Uhr liegt, das Fahren eines Eisenbahnzuges, wenn man das Ohr auf eine Schiene legt, ein in einem Gewässer hervorgerufenes Geräusch, wenn man sich untergetaucht im Wasser befindet u. s. w. Vergleicht man die Deutlichkeit, mit der ein Schall durch solche Körper hindurch gehört wird, mit der Deutlichkeit bei seiner Fortpflanzung in der Luft, so gelangt man zu dem Schlusse:

Die festen und flüssigen Körper leiten den Schall im allgemeinen besser als die Luft.

Bei den festen Körpern ist das Vermögen, den Schall zu erregen und fortzupflanzen, um so geringer, je geringer ihre Elasticität ist. — Weiche lockere Stoffe, z. B. Filz, Watte oder Federn, ferner pulverförmige Körper, wie Sägespäne oder Asche, schwächen den Schall stark ab; sie werden daher z. B. zur Ausfüllung der Doppelwände von Fernsprechräumen überall angewandt, wo die außerhalb entstehenden Geräusche Störungen hervorrufen würden. Zur Dämpfung der Töne eines Pianofortes dienen Filzplatten. — Durch die Knochen des Kopfes wird der Schall leicht nach dem Gehörorgan geleitet. Schwerhörige hören daher z. B. den Ton einer Stimmgabel viel deutlicher, wenn sie diese gegen die Zähne oder den Kopf stemmen.

Die Luft leitet den Schall um so besser, je dichter, und um so schlechter, je dünner sie ist. So schallt z. B. ein mit gewöhnlicher Stärke gesprochenes Wort in einer tief im Wasser hinabgelassenen Taucherglocke wie lautes Rufen, während es in einem sehr hoch gestiegenen Luftballon und auf hohen Bergen weniger stark klingt.

Legt der Schall vom Orte seiner Entstehung bis zu unserem Ohre eine große Strecke zurück, so macht man oft die überraschende Wahrnehmung, daß er viel später gehört wird, als er entsteht (Schlag eines Holzhauers, Knall eines

Geschützes, Pfiff einer Lokomotive, Blitz und Donner u. s. w.). Hieraus folgt, daß zur Fortpflanzung des Schalles eine gewisse Zeit erforderlich ist. Durch geeignete Versuche hat man auch die Geschwindigkeit des Schalles ermittelt.

Zur Fortpflanzung des Schalles ist stets eine gewisse Zeit erforderlich. In ruhiger Luft pflanzt sich der Schall in 1 Sekunde etwa 340 m fort.

---

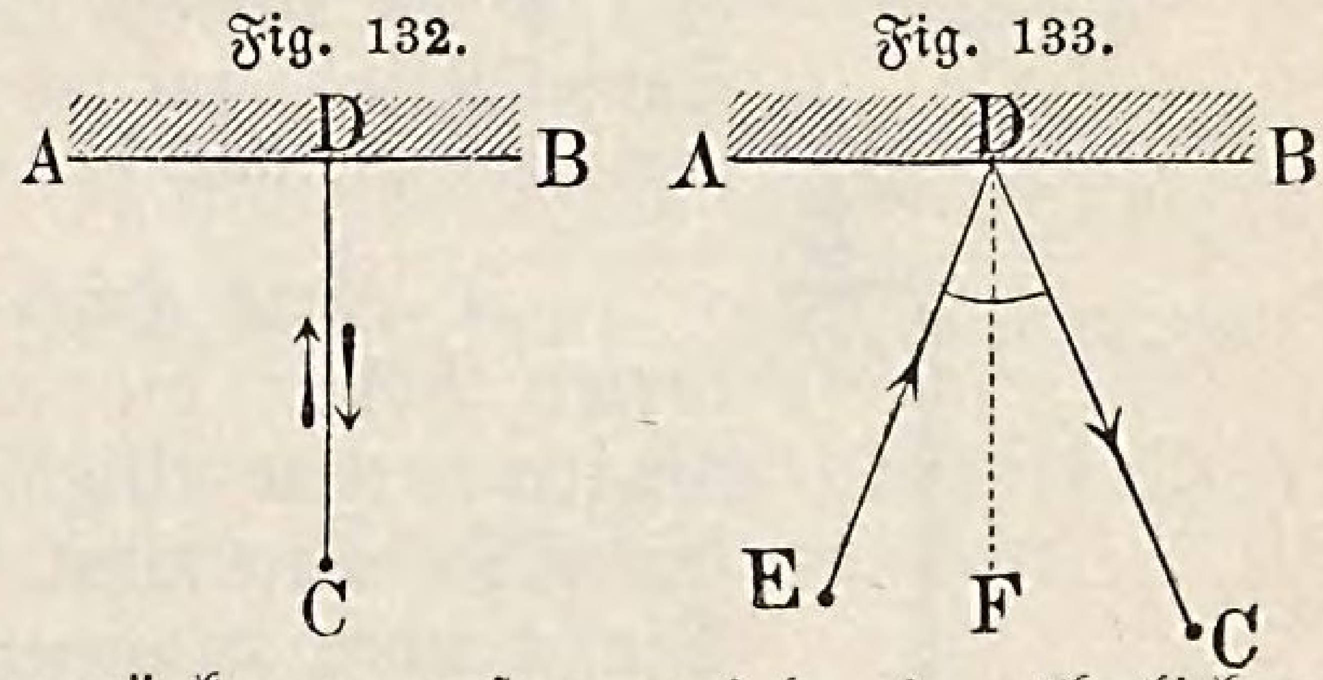
**Übungsstoff.** 1. Welche Ersch. wird eintreten, wenn man das äußere Ende des Zinkens einer kräftig tönenden Stimmgabel etwa mit dem Rande eines Glases in Berührung bringt? — 2. Warum kann es keinen Einfluß auf das Tönen der Gabel ausüben, wenn man mit dem unteren Ende des Zinkens ebenso verfährt? — 3. Wenn eine Turmglocke kräftig angeschlagen wird, so verschwimmt der sonst scharf abgegrenzte Rand. Erkl.! — 4. An dem äußeren Ende des einen Astes einer recht starken Stimmgabel sei in geradliniger Verlängerung desselben eine elastische Schreibspitze (dünner Blechstreifen) befestigt. Was für eine Linie wird diese Spitze auf einer berußten Glasscheibe beschreiben, wenn man die Gabel während des Tönens über die Scheibe hinwegzieht? — 5. Inwiefern hängt die Gestalt dieser Linie von der Geschw. ab, mit der man die Gabel fortbewegt? — 6. Wie wird sich die Gestalt der Linie ändern, wenn der Ton der Gabel an Stärke abnimmt? — 7. Warum heißt es im Sprichworte: Der Horcher an der Wand ...? — 8. Inwiefern wird Bergleuten, die von entgegengesetzten Seiten unterirdische Gänge herstellen, die Schallleitung des Erdreiches zu nutze kommen? — 9. Ein Schrei unter einem Deckbette ist kaum hörbar; bei Schneefall hört man den Schall der Turmglocken nicht so weit, wie bei hellem Wetter u. s. w. Erkl.! — 10. Eine Spieldose sei in einen ganz mit Watte gefütterten Kasten gestellt, dessen Wand mehrere Löcher enthält, durch welche Schnüre hindurchgehen, die an der Dose befestigt sind. Welche überraschende Ersch. läßt sich damit hervorrufen? — 11. Wird das Geräusch, das ein herannahendes Dampfschiff verursacht, von einem Schwimmer unter oder über dem W. deutlicher gehört werden können? — 12. Warum knallen Schüsse auf hohen Bergen viel schwächer als in den Thälern?

---

## § 39. Zurückwerfung des Schalles. Echo und Nachhall. Instrumente.

Steht man in gewisser Entfernung z. B. einem Walde gegenüber, so kommt ein laut gesprochenes Wort vom Walde her wieder zurück, so daß man den Eindruck erhält, als ob sich dort eine zweite Person befände, die das Wort wiederholte. An Felswänden, in manchen Straßen, großen Sälen oder Gewölben u. s. w. macht man dieselbe Wahrnehmung. Solche Erscheinungen entstehen dadurch, daß der Schall von der Wand, gegen die er gerichtet ist, zurückgeworfen wird, in ähnlicher Weise etwa, wie der helle Schein des Sonnenlichtes durch einen Spiegel (Fig. 132 und 133).

Fig. 132. Fig. 133.




Der Winkel EDF (Fig. 133), um den der einfallende Schallstrahl ED von dem gegen die Wand gerichteten Lote (Einfallslote) abweicht, heißt Einfallswinkel; der Winkel FDC, um den der zurückgeworfene Strahl DC von demselben Lote abweicht, Ausfallswinkel oder Reflexionswinkel. Die Zurückwerfung des Schalles erfolgt nach dem Gesetze:

Der Ausfallswinkel ist gleich dem Einfallswinkel.

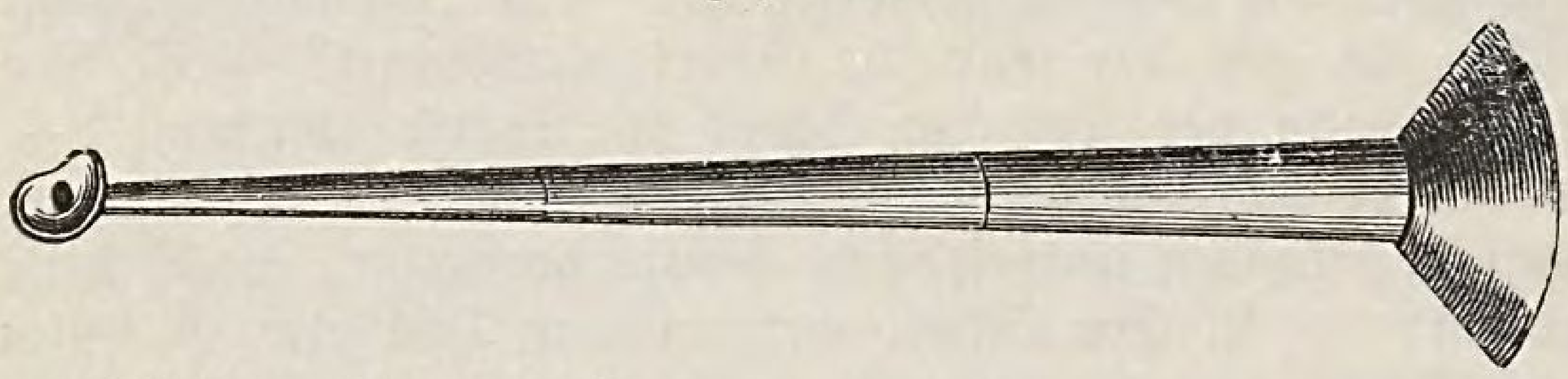
Kann man den zurückgeworfenen Schall von dem ursprünglichen deutlich unterscheiden, so wird die Erscheinung **Echo** oder **Wiederhall** genannt. Hört man dagegen den zurückgeworfenen Schall schon, ehe der ursprüngliche Schall im Ohre ganz verklungen ist, so daß also beide Schalle teilweise zusammenfallen, so nennt man die Erscheinung **Nachhall**.

Ob ein Echo oder nur ein Nachhall entsteht, hängt davon ab, wie weit die den Schall zurückwerfende Wand vom Orte der Entstehung des Schalles entfernt ist. Beträgt diese Entfernung etwa 20 m und darüber, so entsteht ein Echo, im anderen Falle ein Nachhall. In Kirchen, Theatern, Konzertsälen u. s. w. macht der Nachhall die Worte eines Redners oder die Töne der Musik leicht undeutlich. Bei geringerer Entfernung der zurückwerfenden Wand tritt nur eine Verstärkung des Schalles ein. — Nach der Zahl der Silben, welche deutlich als Echo gehört werden, unterscheidet man einsilbige und mehrsilbige Echos. Je nachdem ein Schall ein- oder mehrmals als Echo gehört wird, bezeichnet man das Echo als einfaches oder mehrfaches. (9faches Echo auf dem Königsplatze in Kassel, 17faches beim Loreleifelsen am Rhein.)

Da der Schall schwächer wird, wenn er sich in der Luft verbreitet, so nimmt man in manchen Fällen zum Zusammenhalten der Schallstrahlen röhrenförmige Instrumente zu Hilfe.

1. **Das Sprachrohr** (Fig. 134) dient dazu, im freien Raume gesprochene Worte weithin verständlich zu machen. Es ist ein $1\frac{1}{2}$ bis 2 m langes Rohr, das an einem Ende mit einem Mundstücke versehen ist und nach dem anderen Ende hin allmählich weiter wird.

Fig. 134.

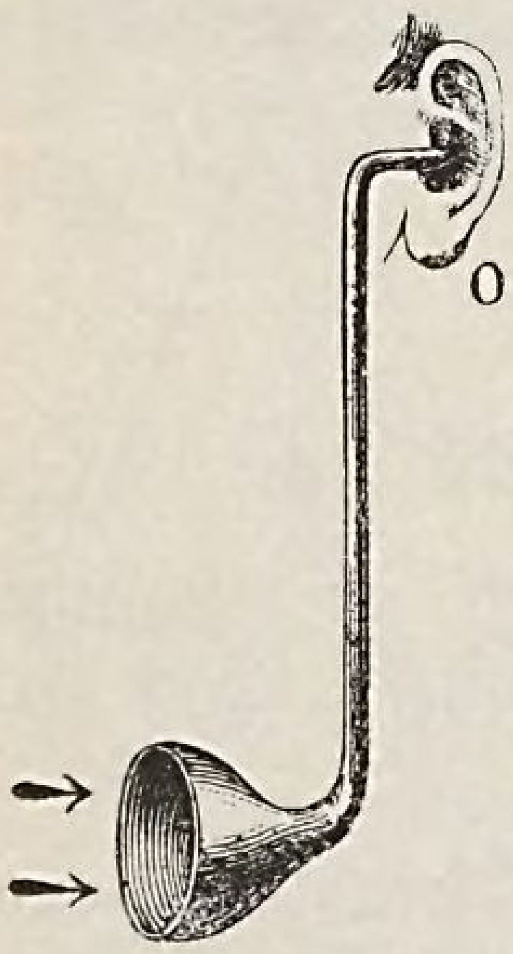


Das Sprachrohr wird namentlich von Schiffern angewandt, um aus größerer Entfernung Personen, die sich auf einem anderen Schiffe oder am Ufer befinden, trotz des Getöses von Wind und Wellen Worte zurufen zu können.

2. **Das Schall- oder Kommunikationsrohr** ist eine etwa 3 cm weite Blechröhre, die an jedem Ende zum bequemen Hineinsprechen etwas erweitert ist und den Zweck hat, Worte nach einem entfernt gelegenen Raume hin deutlich hörbar zu machen.

Das Schallrohr findet eine zweckmäßige Anwendung in Geschäftshäusern, in denen es z. B. die Verkehrsräume mit den Arbeitsräumen verbindet, sowie auf Dampfschiffen, auf denen es namentlich vom Kapitän benutzt wird, um vom Deck aus nach den tiefer gelegenen Schiffsräumen Befehle auszuteilen.

Fig. 135.




3. **Das Hörrohr** (Fig. 135) besteht gewöhnlich aus einer kurzen Röhre, die an beiden Enden nach entgegengesetzten Richtungen rechtwinklig umgebogen ist. Der dünne Schenkel wird ins Ohr eingeführt, der trichterförmig erweiterte Schenkel dem Sprechenden entgegengehalten.

Das Hörrohr wird von Schwerhörenden gebraucht. — Ärzte wenden Hörrohre an, durch welche die schwachen Geräusche deutlich wahrgenommen werden können, die im Innern des Körpers durch die Thätigkeit mancher Organe (z. B. des Herzens, der Lunge beim Atmen) entstehen.

---

**Übungsstoff.** 1. Wievielmal wird eine in C oder einem anderen Punkte der Linie DC (Fig. 133) oder in deren Nähe befindliche Person den von E ausgehenden Schall hören? — 2. Führe nach eigener Beobachtung Orte an, an denen ein Echo hörbar ist. — 3. In gebirgigen Gegenden rollt der Donner bedeutend stärker als in Ebenen. Wie ist dies zu erklären? — 4. Eine Wand sei von einer Schallquelle 50 m entfernt. Nach welcher Zeit wird man am Orte der Entstehung des Schalles das Echo hören? — 5. Angenommen, man hörte vom Eisenbahnzuge aus denselben Pfiff der Lokomotive zweimal und zwar das Echo 5 Sek. später: wie weit müßte dann die reflektierende Wand vom Zuge entfernt sein? — 6. An einem Orte werde ein dreisilbiges Echo gehört. Welchen Einfluß würde es auf das Echo ausüben, wenn man sich der Wand, die den Schall zurückwirft, immer mehr näherte? — 7. Wie muß man ein Blasinstrument richten, um von einer entfernten

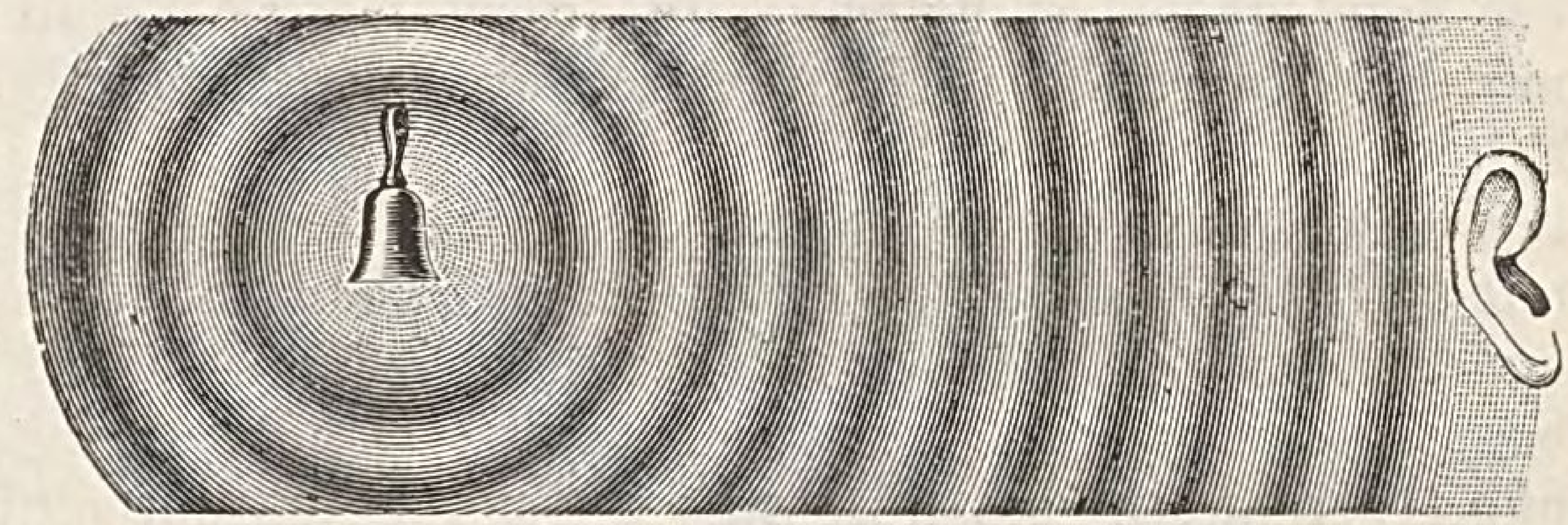
Felswand das Echo am besten hören zu können? — 8. Vergl. die Einrichtung und Benutzung des Schallrohres mit der des Sprachrohres. — 9. Desgl. das Sprachrohr mit dem Hörrohre. — 10. Wie pflegen Schwerhörige zu verfahren, um gesprochene Worte ohne Hörrohr deutlicher zu hören?

---

**§ 40*. Die Fortpflanzung des Schalles in der Luft.** Der Schall pflanzt sich in der Luft nicht dadurch fort, daß die vom Schallerreger getroffenen Luftteilchen bis zu unserem Ohre fortgeschleudert werden, sondern es entstehen nur hin- und hergehende Schwingungen der Luftteilchen. Die in der Richtung des erhaltenen Stoßes um eine gewisse Strecke fortbewegten Luftteilchen kehren nämlich mit dem Schallerreger jedesmal wieder um, nachdem sie ihre Bewegung an die benachbarten Luftteilchen übertragen haben; diese schwingende Bewegung schreitet von einer Luftschicht zur anderen in schneller Aufeinanderfolge fort. Dadurch entstehen abwechselnd Luftverdichtungen und Luftverdünnungen.

Könnte man die Luft sichtbar machen, so würden die verdichteten und verdünnten Luftschichten bei durchaus gleicher Beschaffenheit der Luft als Hohlkugeln erscheinen, die sich schnell vergrößern und deren Mittelpunkt der Schallerreger ist. Fig. 136 stellt die Schallwellen dar, die von einer tönenden Glocke ausgehen (die Luftverdichtungen sind durch die dunklere Schattierung angedeutet). In einer durch den Schallerreger gelegten Ebene würden die verdichteten und verdünnten Luftschichten konzentrische Ringe bilden, ähnlich den Ringen, die entstehen, wenn man einen Stein ins Wasser wirft. Diese Luftringe würden aber bedeutend schneller als die Ringe im Wasser sowohl an Größe zunehmen, als auch von neuem sich bilden.

Fig. 136.



Die Luft pflanzt den Schall nach allen Richtungen durch Schwingungen fort. Hierdurch entstehen abwechselnd Luftverdichtungen und Luftverdünnungen.

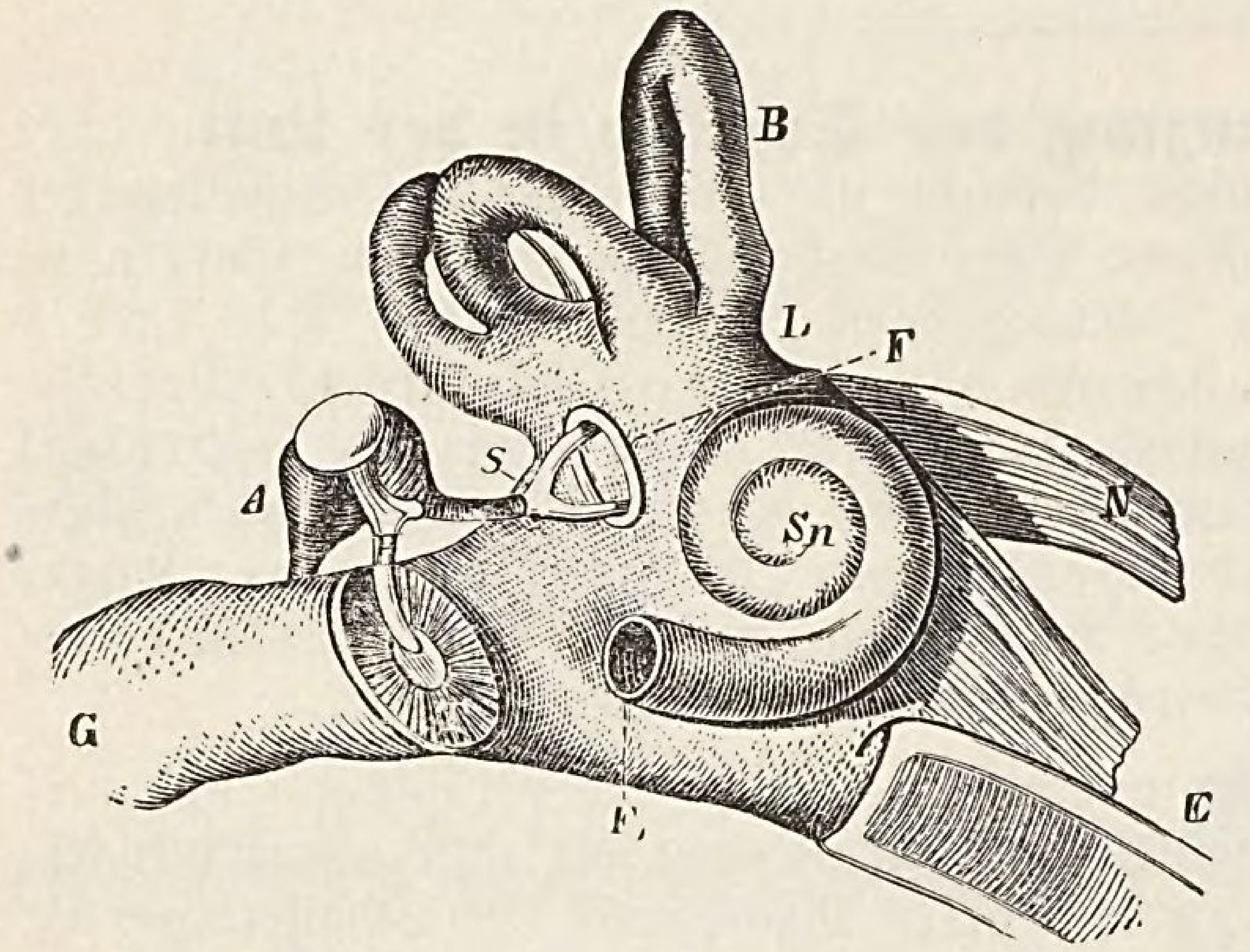
Eine einzelne verdichtete Luftschicht mit der sich unmittelbar anschließenden verdünnten Luftschicht wird **Schallwelle** genannt.

---

**Übungsstoff.** 1. Wenn der Wind über ein Kornfeld weht, so bewegen sich die Ähren mit den oberen Teilen der Halme hin und her. Einfluß auf den gegenseitigen Abstand der Ähren? — 2. Vergl. hiermit die Bewegung, welche die Teilchen der Luft ausführen, indem sie den Schall fortpflanzen. — 3. Welchen Einfluß wird es auf die Schnelligkeit der Bewegung ausüben, wenn die Halme sehr klein und dünn sind? — 4. Wie schnell pflanzt sich die Bewegung der Luftteilchen beim Schalle fort? — 5. Wenn mehrere Glaskugeln in einer Rinne nebeneinander liegen, so fliegt die letzte Kugel fort, wenn man gegen die erste einen Stoß ausübt. Indem der Stoß ausgeübt wird, plattet sich die erste Kugel etwas ab; ihre Teilchen nähern sich. Da sie elastisch ist, so dehnt sie sich unmittelbar darauf wieder aus und wirkt dadurch auf die folgende Kugel ein. Beziehe dies ebenfalls wieder auf die Bewegung der Luftteilchen bei der Fortpflanzung des Schalles. — 6. Vergl. die Bewegung der den Schall fortpflanzenden Luft mit der des Schallerregers. — 7. Ein schwimmender Gegenstand schaukelt auf den Wellen des W., ohne sich mit ihnen fortzubewegen. Welche Bewegung führen hiernach die Wasserteilchen eines Wellenzuges aus? — 8. Vergl. die Schwingungsrichtung der Luftteilchen mit der Richtung, in welcher die Luftwellen fortschreiten.

**§ 41*. Das Gehörorgan des Menschen.** Das menschliche Gehörorgan (Fig. 137) besteht aus drei Hauptteilen: dem *äußeren Ohre*, der *Paukenhöhle* und dem *Labyrinth*.

Fig. 137.




Bem. In Fig. 137 sind die Teile der Paukenhöhle und des Labyrinthes der Deutlichkeit wegen unverhältnismäßig groß dargestellt.

Das **äußere Ohr** dient zum Auffangen des Schalles; es wird durch die *Ohrmuschel* (links von G, in der Figur nicht mit angegeben) und den *Gehörgang* (G) gebildet. Letzterer ist nach innen durch eine dünne, elastische Haut (T), *Trommelfell* genannt, gegen den mittleren Teil des Ohres, die Paukenhöhle, abgeschlossen.

Von der **Paukenhöhle** führt ein Kanal (E) in den Schlund, so daß die in der Paukenhöhle enthaltene Luft, ebenso wie die Luft des äußeren Gehörganges, mit der Außenluft in Verbindung steht. In der Paukenhöhle befindet sich ein kleiner Hebelapparat, der aus 4 Knöchelchen besteht, die beweglich miteinander verbunden sind. Diese werden *Hammer* (H), *Ambos* (A), *Linsenkörperchen* und *Steigbügel* (S) genannt. Der keulenförmige Hammer ist mit seinem Stiele am Trommelfelle angewachsen und ruht mit seinem verdickten Ende auf dem backenzahnförmigen Ambos; dieser ist durch das Linsenkörperchen mit dem Steigbügel verbunden, der wiederum einer zarten Haut aufliegt, die das sogen. *ovale Fenster* (F) verschließt. Das ovale Fenster ist eine Öffnung in der Wand des Labyrinthes, der dritten Höhlung des Ohres. Neben dieser Öffnung befindet sich eine zweite, *rundes Fenster* genannt ($F_1$), die ebenfalls mit einer zarten Haut überspannt ist.

Das **Labyrinth** enthält sehr verschieden gestaltete Hohlräume, die mit einer wässerigen Flüssigkeit ausgefüllt sind und als *Vorhof* (der Raum zwischen S und L, Fig. 137), *Schnecke* (Sn) und *halbkreisförmige Kanäle* (B) bezeichnet werden. Der *Vorhof* ist der mittlere dieser drei Teile; in seiner Wand ist das ovale Fenster angebracht. Die *Schnecke* ist ein schneckenhausförmig gewundener Gang, dessen Eingang das runde Fenster bildet. Sie wird ihrer ganzen Länge nach von einer Scheidewand durchzogen, auf der mehrere Tausende äußerst feiner *Fasern des Gehörnervs* ähnlich wie Klaviersaiten ausgespannt sind. Diese Fasern werden als die eigentlichen Organe zur Aufnahme der Schallreize angesehen.

Die Luftwellen, die durch die Schwingungen tönender Körper hervorgebracht werden, dringen in den äußeren Gehörgang ein und stoßen auf das Trommelfell. Dieses nimmt die Schwingungen auf und überträgt sie durch den Hammer auf die Kette der Gehörknöchelchen. Da der Steigbügel an der Haut des ovalen Fensters befestigt ist, so muß jede Schwingung desselben sich dem Labyrinthwasser im Vorhof mitteilen, wobei jeder Stoß des ovalen Fensters nach innen durch einen entsprechenden Stoß des runden Fensters nach außen sich ausgleicht. Die auf diese Weise entstehenden Schwingungen pflanzen sich im Labyrinthwasser bis in die Bogengänge und in die Schnecke fort und wirken auf die Ausbreitungen der Gehörnerven. Auf welche Weise im Gehirn durch die Reizung der Gehörnerven die Schallempfindungen zustande kommen, kann nicht weiter erklärt werden.

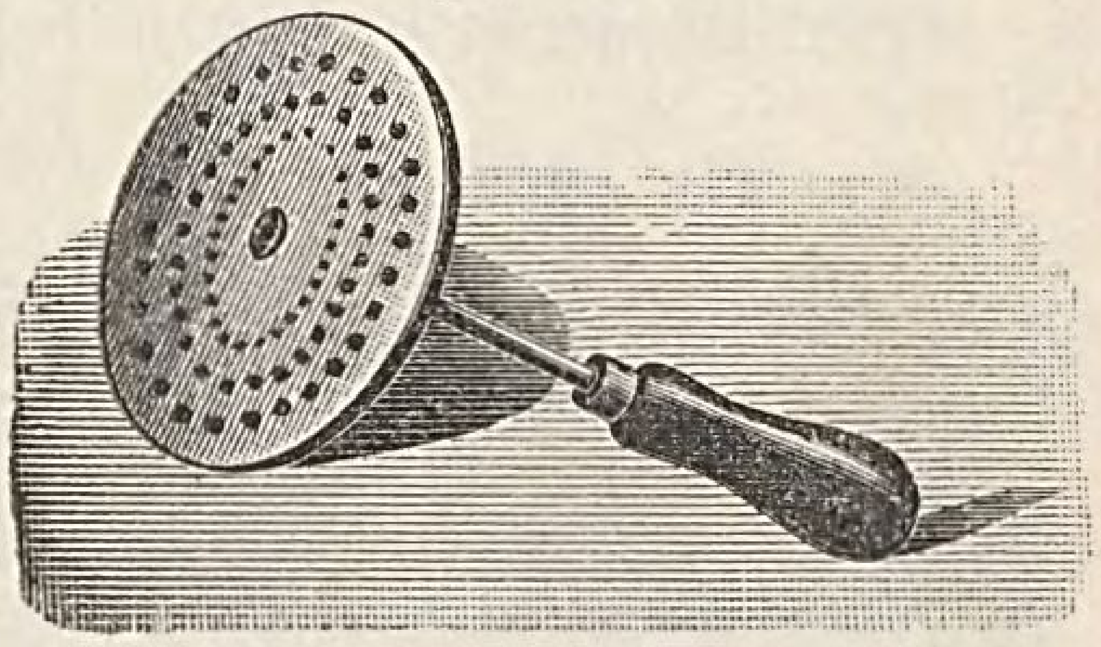
**Übungsstoff.** 1. Inwiefern ist die Elasticität für die Übertragung des Schalles im Gehörorgan wichtig? — 2. Bedeutung der Ohrmuschel! (Wirkung beim Anlegen einer hohlen Hand.) — 3. Aggregatzustände der in den 3 Höhlungen des Ohres mitwirkenden Teile? (Reihenfolge!) — 4. Worin stimmen die Teile überein, mit denen die Enden des im Ohre befindlichen Hebelapparates in Verbindung stehen? Zweck? — 5. Verhärtetes Ohrenschmalz kann den Gehörgang verstopfen. Einfluß auf das Hören? — 6. Das Trommelfell ist schräg gegen den Gehörgang gerichtet. Einfluß auf die Größe? Vorteil! — 7. Bei dieser Stellung kann eine größere Anzahl von der Wand des Gehörganges zurückgeworfener Schallstrahlen rechtwinklig gegen das Trommelfell fallen. Inwiefern ist dies vorteilhaft? — 8. Der Stiel des Hammers ist genau in der Mitte des Trommelfelles angewachsen. Mech. V.? — 9. Welche Einrichtung bewirkt, daß die Paukenhöhle stets mit Luft erfüllt ist, welche die Spannung der äußeren Luft hat? — 10. Inwiefern ist dies für das Trommelfell wichtig? — 11. Welchen Zweck hat es demnach, daß Kanoniere beim Abfeuern der Geschütze den Mund öffnen? — 12. Wenn das runde Fenster des Labyrinthes nicht vorhanden wäre, so würde eine Bewegung der Flüssigkeit im Labyrinth nicht erfolgen können. Wie läßt sich dies aus einer Eigenschaft schließen, die allen Flüssigkeiten zukommt?

---

**§ 42*. Tonhöhe und Tonleiter.** Um zu ermitteln, durch wieviele Schwingungen die einzelnen Töne hervorgerufen werden, benutzt man ein als Sirene bezeichnetes Instrument.

Eine **Sirene** besteht aus einer dünnen, kreisförmigen Scheibe von Pappe oder Metall, die in mehreren konzentrischen Kreisen eine Anzahl gleichweit voneinander entfernter Löcher enthält (z. B. 16, 20 und 24). Dreht man die Sirene sehr schnell um ihren Mittelpunkt und bläst gegen einen der Löcherkreise einen kräftigen Luftstrom, so entsteht ein um so höherer Ton, je schneller gedreht wird; bläst man alle Löcherkreise schnell nacheinander an, so hört man eine bestimmte Tonfolge, die bei 16, 20 und 24 Löchern dem Accorde c, e, g entspricht. Indem nämlich der Luftstrom abwechselnd durch eine Öffnung geht und wieder unterbrochen wird, erhält die Luft unterhalb der Scheibe rasch aufeinander folgende Stöße, wodurch sie in regelmäßige Schwingungen gerät.

Fig. 138.



Da sich nachweisen läßt, daß die Höhe der Töne von der Natur und Beschaffenheit der Schallerreger völlig unabhängig und nur durch die Zahl der Schwingungen bedingt ist, so gilt der Satz:

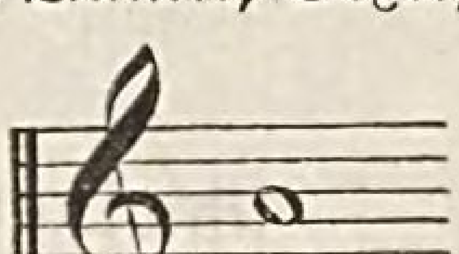
Jeder **Ton** entsteht durch eine bestimmte Anzahl regelmäßig aufeinander folgender Schwingungen. Die **Höhe eines Tones** nimmt mit der Anzahl der Schwingungen zu.

Das Verhältnis der Schwingungszahlen zweier Töne heißt **Intervall**, der tiefere der beiden Töne **Grundton**.

Die Schwingungszahlen der Töne der Tonleiter stehen in folgendem Verhältnis zu einander:

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | c | : | d | : | e | : | f | : | g | : | a | : | h | : | c |
| wie | 24 | : | 27 | : | 30 | : | 32 | : | 36 | : | 40 | : | 45 | : | 48 |
| oder wie | 1 | : | $\frac{9}{8}$ | : | $\frac{5}{4}$ | : | $\frac{4}{3}$ | : | $\frac{3}{2}$ | : | $\frac{5}{3}$ | : | $\frac{15}{8}$ | : | 2. |

Diese Intervalle heißen: Grundton, Sekunde, Terz, Quarte, Quinte, Sexte, Septime, Oktave.

Die Schwingungszahl beträgt für das eingestrichene  der Stimmgabel

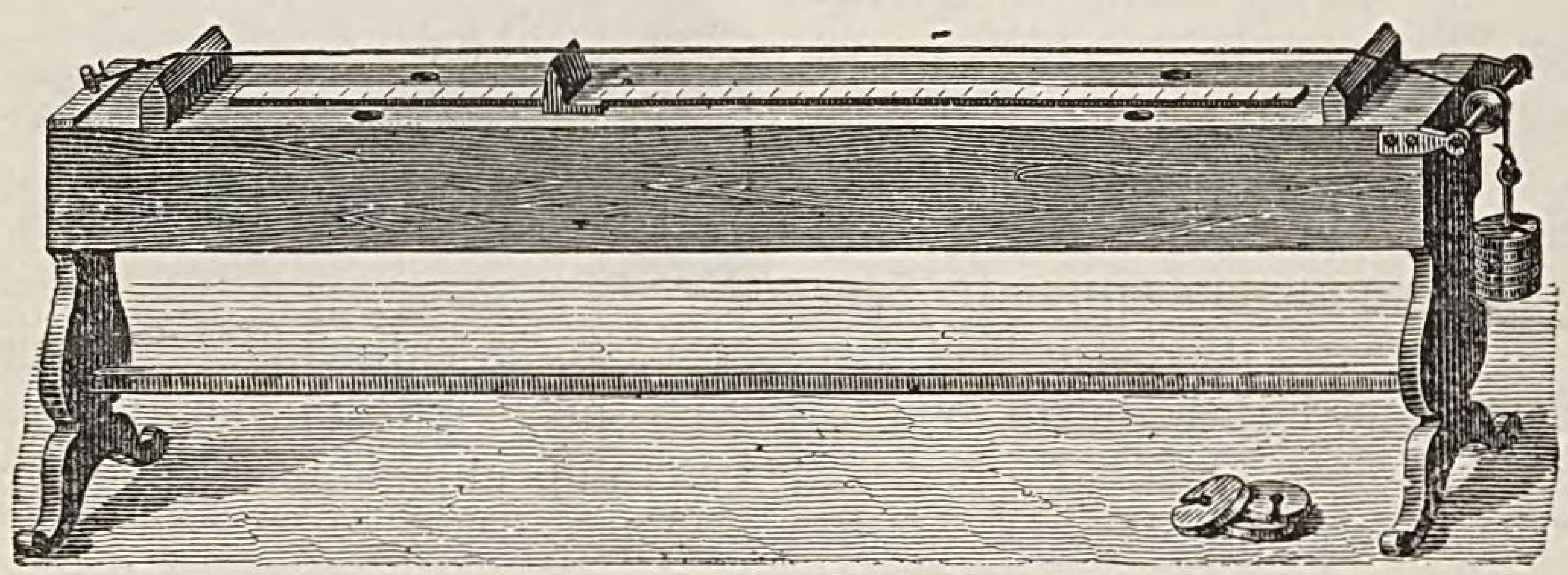
a

nach der jetzt geltenden Normalstimmung 435 (sogen. Kammerton), d. h. die Äste der Stimmgabel machen in 1 Sek. 435 Hin- und Herbewegungen oder Doppelschwingungen.

**Übungsstoff.** 1. Wie erklärt es sich, daß durch Anblasen einer Sirene ein Ton entsteht? — 2. Wie schnell muß eine Sirene gedreht werden, damit durch Anblasen einer Löcherreihe mit 48 Löchern nahezu der Stimmgabelton entsteht? — 3. Angenommen, eine Sirene enthalte 8 Löcherreihen, so daß man alle Töne der Tonleiter damit hervorrufen könnte. Wv. Löcher müßten dann z. B. in den Reihen enthalten sein? — 4. Wie müßte man verfahren, um mit derselben Sirene doppelt so hohe Töne hervorzurufen? — 5. Ein Zahnrad habe 440 Zähne und werde so schnell gedreht, daß es in jeder Sekunde einmal umläuft. Was wird eintreten, wenn man nach Anleitung von Fig. 139 einen Luftstrom so gegen den Rand des Rades richtet, daß er durch die Zahnlücken hindurchgeht? — 6. Erkläre, auf welche Weise hierdurch ein Ton entsteht? — 7. Durch welche kleinsten ganzen Zahlen läßt sich das Verhältnis der Schwingungszahlen der Töne c, e, g, c ausdrücken? — 8. Untersuche durch Rechnung, wievielmal die Schwingungszahlen der Töne von d bis c größer sind, als die der ihnen unmittelbar vorhergehenden Töne. — 9. Vergleiche die erhaltenen Brüche a. für die sogen. ganzen, b. für die halben Töne miteinander. Welche auffällige Erscheinung zeigt sich hierbei?

**§ 43*. Tönende Saiten. Resonanz. Obertöne.** Bei Klavieren, Geigen und ähnlichen Instrumenten entstehen die Töne bekanntlich durch das Schwingen von Saiten, und zwar die tiefen Töne durch dicke, die hohen durch dünne Saiten. Bei einzelnen dieser Instrumente (Klavier, Harfe, Zither) sind die tiefer klingenden Saiten bedeutend länger als die anderen; bei allen Saiteninstrumenten erhöht man den Ton dadurch, daß man die Saiten stärker anspannt. Hieraus geht hervor, daß sowohl die Länge und Dicke, als auch die Spannung der Saiten einen Einfluß auf die Höhe und Tiefe der Töne ausübt. Genaue Beobachtungen, die man mit einem Monochord (Fig. 139) anstellen kann, lehren hierüber:

Fig. 139.



Der Ton einer Saite ist um so höher, je kürzer und dünner die Saite und je stärker sie gespannt ist. Metallsaiten erzeugen tiefere Töne als gleichstark gespannte Darmsaiten von gleicher Länge und Dicke.

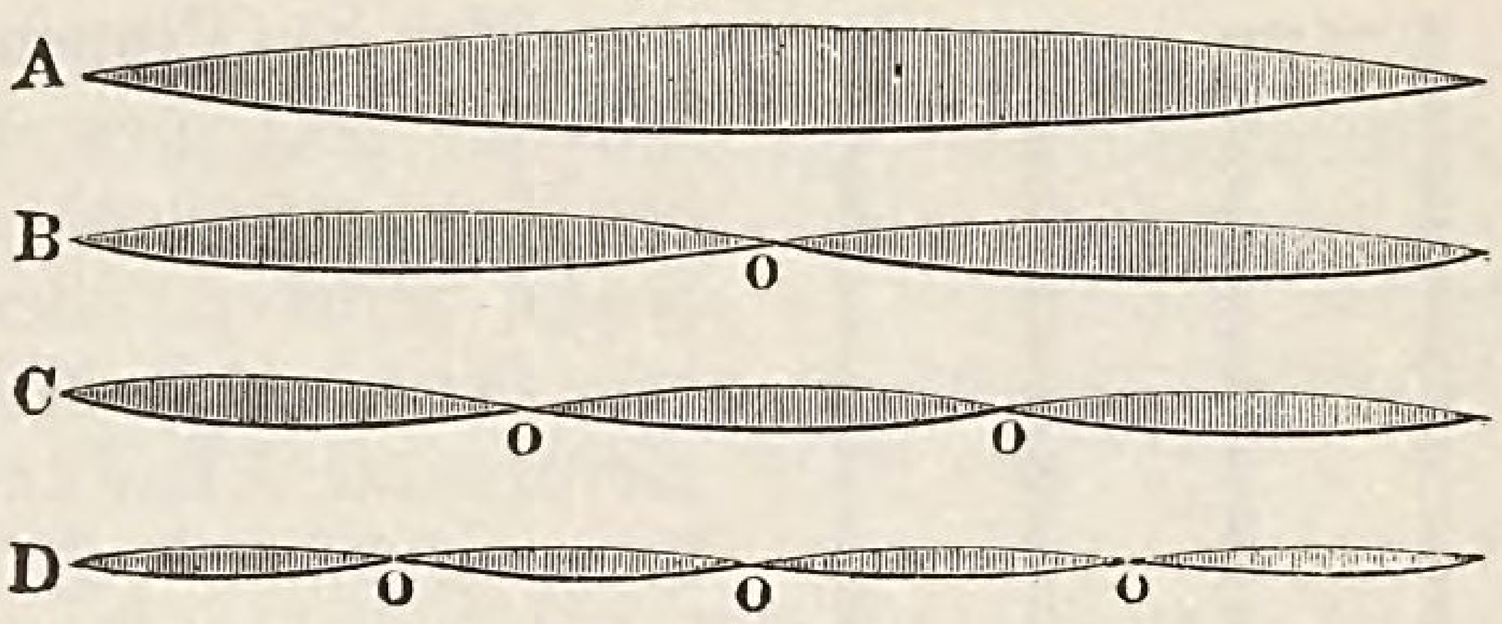
Da Saiten beim Schwingen die Luft durchschneiden, ohne sie stark zu erschüttern, so sind ihre Töne an sich nur sehr schwach, etwa wie der Ton einer Stimmgabel, die man frei in der Hand hält. Die Saitentöne würden daher für die Zwecke der Musik gänzlich unbrauchbar sein, wenn es nicht Mittel gäbe, sie zu verstärken. Dies geschieht, indem man die Saiten über dünne Holzplatten oder auf dünnwandige Kasten spannt (Fig. 139). Dadurch wird ein Mitschwingen des festen Holzes und der eingeschlossenen Luftmasse bewirkt, wodurch die Töne die erforderliche Kraft und Fülle erhalten.

Diese Art der Tonverstärkung heißt **Resonanz**.

Eine jede Saite kann sowohl als Ganzes, als auch zugleich in Teilen schwingen (Fig. 140, folg. Seite). Ein geübtes Ohr vermag z. B. in jedem Tone

eines Klaviers außer diesem starken Tone noch schwach klingende höhere Töne zu unterscheiden. Diese können auch für sich allein dadurch hervorgerufen werden, daß man die Saite an bestimmten Stellen leise mit dem Finger oder mit einem Haarpinsel berührt und dann erklingen läßt; sie heißen **Neben-** oder **Obertöne.**

Fig. 140.

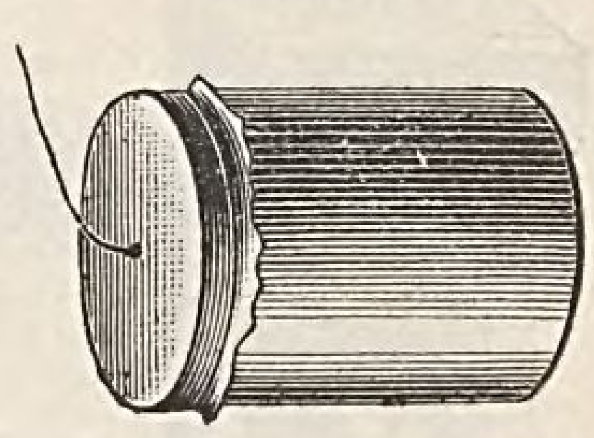



Musiker machen von den Obertönen der Streichinstrumente, den sogen. Flageolettönen, bisweilen Gebrauch, um z. B. sehr hohe Töne hervorzurufen, die durch das gewöhnliche Greifen nicht mehr erhalten werden können. Auf der Entstehung solcher Töne beruht auch die Musik der Äolsharfe, eines dünnwandigen Kastens, über den mehrere Saiten von ganz gleicher Stimmung gespannt sind. Im Luftzuge werden diese Saiten durch die Reibung, welche sie durch die Luft erleiden, in Schwingungen versetzt. Jede Saite schwingt dabei als Ganzes und auch in Teilen. Das Summen, welches man oft hört, wenn man das Ohr an die Stange einer Telegraphenleitung legt, beruht ebenfalls auf Schwingungen der Drähte, die durch die Luftbewegung veranlaßt und durch die Resonanz der Stange verstärkt werden.

---

**Übungsstoff.** 1. Welches Mittel wird bei den Saiteninstrumenten zur Vergrößerung oder Verkleinerung der Spannung der Saiten angewandt? — 2. Eine Stahlsaite und eine Darmsaite seien gleichlang und gleichdick; welche von beiden giebt den höchsten Ton an, wenn ihre Spannungen gleich sind? — 3. Welche Saite einer Violine giebt die höchsten und welche die tiefsten Töne an, und wie ist dies zu erklären? — 4. Warum sind manche Darmsaiten mit dünnem Metalldraht übersponnen? — 5. Wie ändert sich die Stimmung der Instrumente, welche mit Darmsaiten bespannt sind, wenn der Feuchtigkeitsgehalt der Luft zunimmt? — 6. In welcher Weise muß sich die Stimmung eines mit Stahlsaiten bespannten Instrumentes mit der Temp. ändern? — 7. Warum müssen Resonanzböden aus dünnem Holze bestehen? — 8. Wenn man 2 an beiden Enden offene Cylinder (etwa Blechbüchsen, aus denen man den Boden entfernt hat) an einem Ende mit Tierblase oder Kautschuk fest verschließt (Fig. 141) und dann diese elastischen Häute durch eine Schnur verbindet, so erhält man einen Apparat, durch den ein in die Höhlung des einen Cylinders gesprochenes Wort vor dem anderen Cylinder auf weitere Entfernung hin deutlich hörbar ist. Erkl.! — 9. Wie mag es sich erklären, daß bei heftigen Donnerschlägen bisweilen die Fenster klirren? — 10. Man macht zuweilen die Beobachtung, daß bei bestimmten Tönen eines musikalischen Instrumentes Gläser, Lampenglocken, Fensterscheiben u. dgl. mitklingen. Erklärung!

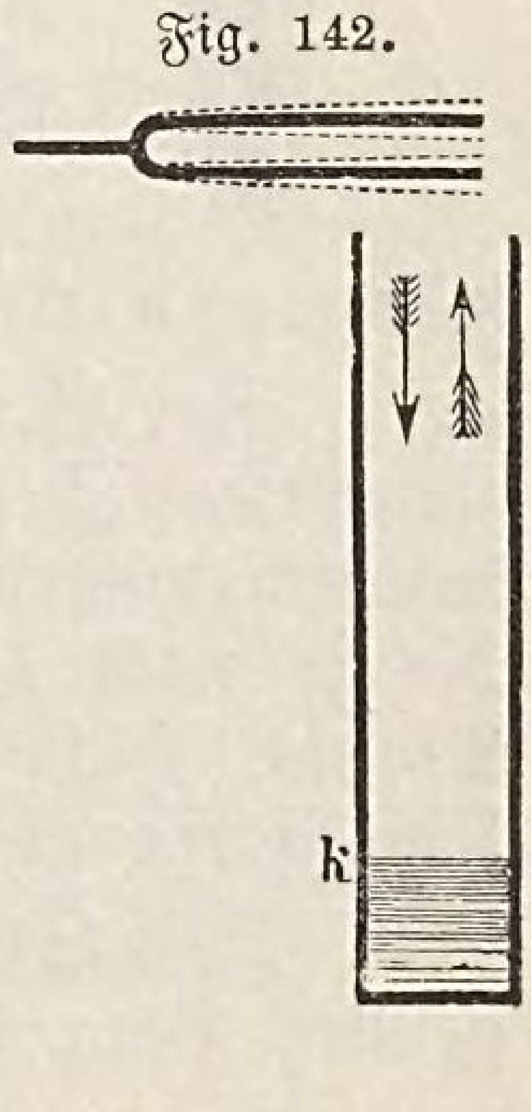
Fig. 141.



---

**§ 44*. Tönende Luftsäulen. Klangfarbe. Stimmorgan.** Bei vielen Musikinstrumenten, z. B. Orgeln, Flöten, Klarinetten, Waldhörnern, Trompeten u. s. w., werden die Töne durch Anblasen hervorgebracht. Diese Instrumente bestehen aus geraden oder gekrümmten, einige auch aus mehrfach gewundenen Röhren. Das Anblasen geschieht entweder mit dem Munde, oder, wie bei den Orgeln, mittelst eines Blasebalges. Durch Versuche läßt sich nachweisen, daß die von den Blasinstrumenten eingeschlossene Luft durch ihre Schwingungen den Ton erzeugt.

Fig. 142.




Man überzeugt sich leicht davon, daß eine Luftsäule zum Tönen gebracht werden kann, wenn man eine tönende Stimmgabel über die Mündung eines etwa 25 cm hohen Glascylinders (Fig. 142) hält und die Luftsäule durch geräuschloses Hineingießen von Wasser verkürzt. Bei einer gewissen Länge der Luftsäule wird der Ton stärker, weil dann die Luft mittönt.

Röhrenförmige Instrumente, bei denen die eingeschlossene Luft durch Anblasen zum Tönen gebracht wird, bezeichnet man als **Pfeifen.** Man unterscheidet Lippen- und Zungenpfeifen.

Fig. 143.

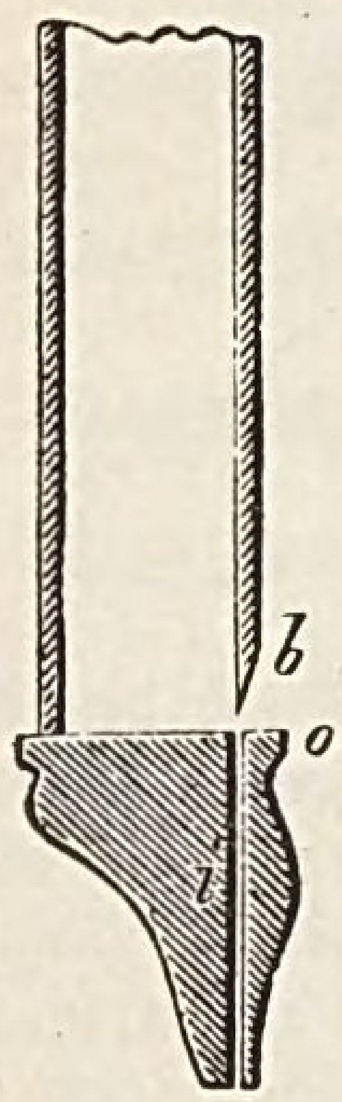
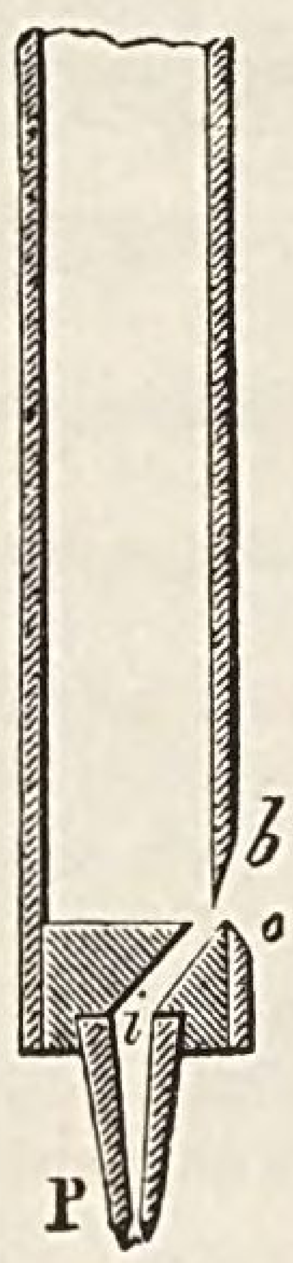


Fig. 144.



Bei den **Lippenpfeifen** der Orgeln (Fig. 143 und 144) sind die hölzernen oder metallenen Röhren, welche die den Ton erzeugende Luftsäule einschließen, mit einem sogen. Fuße versehen, über dem eine Querspalte liegt. Diese wird der Mund, die beiden ihn begrenzenden Platten (o und b) werden die Lippen der Pfeife genannt. Die obere Lippe ist zugeschärft. Je nachdem die Pfeife oben offen oder geschlossen (gedeckt) ist, wird sie offene oder gedeckte (auch gedackte) Pfeife genannt. — Beim Anblasen wird ein Luftstrom durch den Fuß nach dem Munde der Pfeife getrieben. Dies hat zur Folge, daß die in der Pfeife enthaltene Luftsäule in der Längsrichtung in regelmäßige Schwingungen gerät. Versuche lehren ferner:

Der Ton einer Lippenpfeife ist um so höher, je kürzer die schwingende Luftsäule ist. Wird eine Lippenpfeife gedeckt, so wird ihr Ton eine Oktave tiefer.

Lippenpfeifen finden namentlich in Orgelwerken eine ausgedehnte Anwendung. Auch die Flöten, Holzpfeifen und Weidenbastflöten der Kinder sind Lippenpfeifen. Pfeifen, bei denen die Luftschwingungen in ähnlicher, aber einfacherer Weise (ohne Lippenvorrichtung) hervorgerufen werden, sind die Pans- oder Hirtenflöte, die Querflöte, jeder zum Tönen gebrachte hohle Schlüssel u. s. w.

Fig. 146.

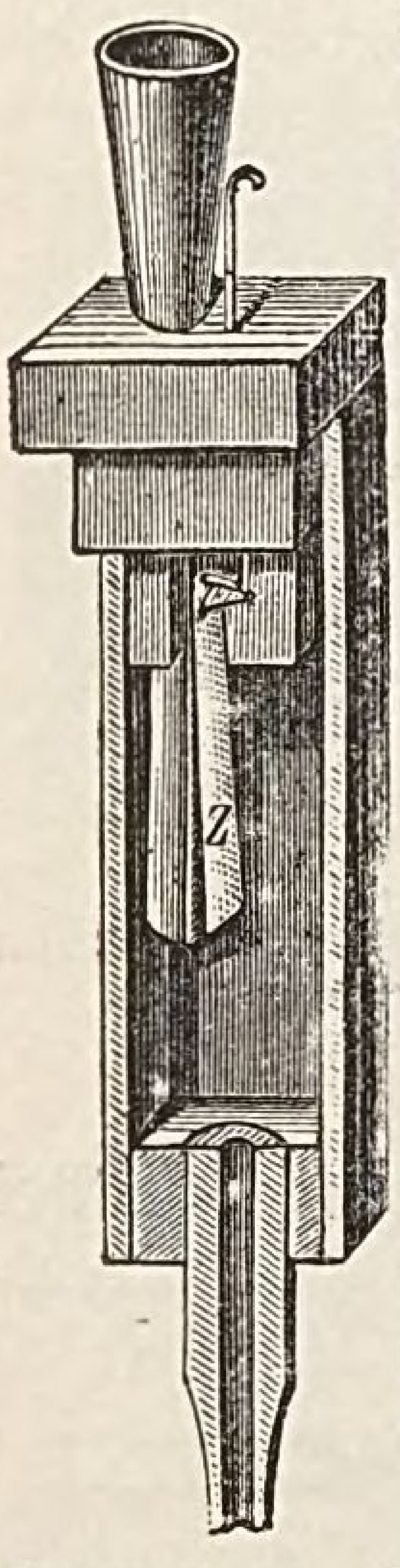
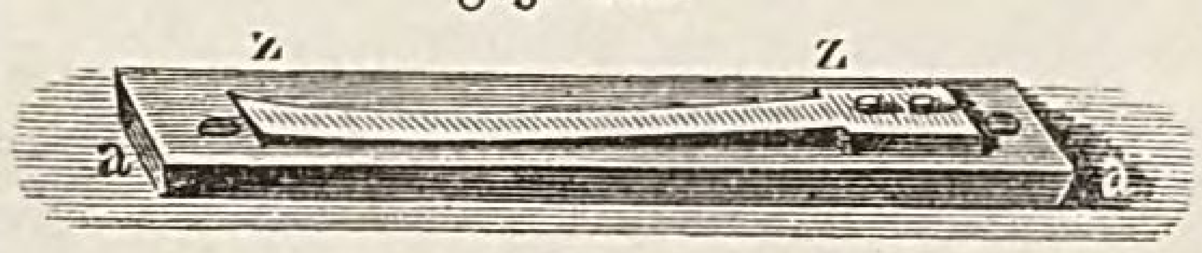


Fig. 145.



Enthält eine Pfeife eine schwingende Platte (Zunge, Fig. 145), die durch den Luftstrom zunächst in Schwingungen versetzt wird, so nennt man sie **Zungenpfeife.**

In Orgelwerken werden Zungenpfeifen von der Einrichtung, die Fig. 146 zeigt, angewandt. — Die Klarinette, die Oboe, das Fagott und die Schalmei enthalten Zungen, die aus Holz oder Rohr geschnitzt sind. Bei Waldhörnern, Trompeten und Posaunen werden die schwingenden Platten durch die in das Mundstück gepreßten Lippen der Bläser gebildet.

Die Erfahrung lehrt, daß man außer der Höhe und Stärke an den Tönen noch etwas unterscheiden kann, wodurch sie sich als Töne eines bestimmten Tonerregers kennzeichnen. So klingt ein und derselbe Ton ganz verschieden, je nachdem er gesungen, auf einer Flöte oder einer Trompete geblasen, auf einer Geige angestrichen, auf einem Klavier angeschlagen wird u. s. w.

Diese von der Beschaffenheit des Tonerregers abhängigen Unterschiede der Töne nennt man **Klangfarbe.**

Der Grund dieser Erscheinung besteht nach sehr sorgfältigen Untersuchungen im wesentlichen darin, daß die Klänge der gewöhnlichen Tonerreger außer den deutlich wahrnehmbaren Tönen noch gewisse Neben- oder Obertöne enthalten, die je nach der Beschaffenheit der Tonerreger sehr verschieden sind. Von der Anzahl, Höhe und Stärke dieser dem Grundton beigemischten Nebentöne ist die Klangfarbe abhängig.

Das **Stimmorgan des Menschen** bildet eine Zungenpfeife mit zwei schwingenden Häuten. Seine wesentlichen Teile sind: die Luftröhre, der Kehlkopf

und die Mundhöhle. Luftröhre und Kehlkopf stehen durch eine Spalte in Verbindung, deren elastische Hautränder, die Stimmbänder, beim Sprechen stärker gespannt sind und dadurch die Spalte zu einer schmalen Ritze, der Stimmritze, verengen.

Beim kräftigen Durchströmen der Luft durch den Kehlkopf werden die Stimmbandränder in Schwingungen versetzt. Dadurch entsteht ein Ton, dessen Höhe von der Beschaffenheit und Spannung der Stimmbänder, dessen Klang aber wesentlich von der Gestalt und Größe der Mundhöhle abhängt. Die Stimmlage ist von der Länge der Stimmbänder, die Kraft des Tones von der Stärke des Luftstromes abhängig.

---

**Übungsstoff.** 1. Was für eine Pfeife ist die bekannte Weidenbastflöte? — 2. Wie kann man den Ton derselben erhöhen? — 3. Wie läßt sich ein hohler Schlüssel zum Tönen bringen? — 4. Wenn man einen frischen Getreidehalm nahe unter einem Knoten und in Fingerlänge über demselben quer abschneidet und das abgeschnittene Stück etwa 2 cm lang aufspaltet, so entsteht eine Pfeife mit Doppelzunge; desgl. wenn man eine Weidenbaströhre an einem Ende abschabt und beim Anblasen mit den Lippen ein wenig zusammenpreßt; inwiefern? — 5. Inwiefern kann das menschliche Stimmorgan als Pfeife mit Doppelzunge bezeichnet werden? — 6. Wie kommt bei ihm der Ton zustande? — 7. Welchen Einfluß muß eine Erschlaffung der Stimmbänder auf die Beschaffenheit des Tones ausüben? — 8. Welche Bedeutung hat die Mundhöhle für die Tonerzeugung? — 9. Feld- und Hausgrillen rufen das bekannte Gezirp dadurch hervor, daß sie ihre Flügeldecken aneinander reiben; Feldheuschrecken reiben den Innenrand ihrer Hinterschenkel an den vorspringenden Adern der Flügeldecken. Bei welchen Musikinstrumenten werden in ähnlicher Weise Töne erzeugt?

---

# 4. Abschnitt.

# Vom Lichte.

---

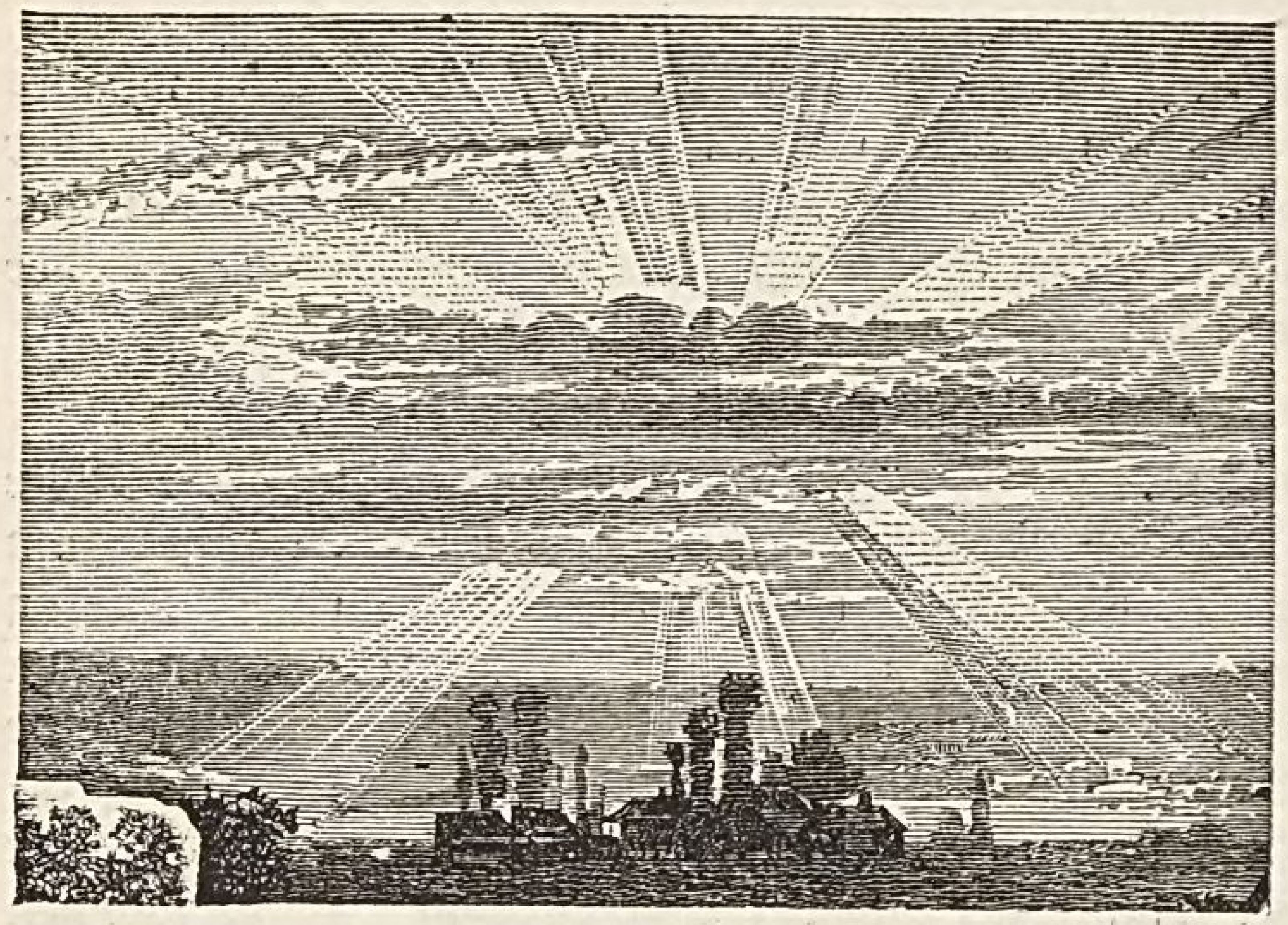
**§ 45. Selbstleuchtende und dunkle Körper. Verbreitung des Lichtes.** Der tägliche Wechsel von Tag und Nacht, der Gebrauch der Lampen u. s. w. bieten Beweise dafür, daß wir die allermeisten Körper der Erde erst dann sehen können, wenn sie von dem Lichte gewisser anderer Körper (der Sonne, einer Flamme) getroffen werden. Sie besitzen also nicht die Eigenschaft, in unseren Augen Empfindungen hervorzurufen, durch die wir eine Vorstellung von ihrer Gestalt, Größe, Farbe u. s. w. erhalten.

Die Ursache des Sichtbarwerdens der Körper nennt man **Licht.** Körper, welche durch sich selbst sichtbar sind, bezeichnet man als **selbstleuchtend (Lichtquellen)**; Körper, denen diese Eigenschaft fehlt, werden **dunkel** genannt.

Die Hauptlichtquelle für die Erde ist die Sonne; ihr Licht ist viele Millionen mal stärker als das Licht der meisten Firsterne. Das Licht des Mondes ist Sonnenlicht, das vom Monde zurückgeworfen wird. — Die irdischen Körper können durch starke Erhitzung zu Lichtquellen werden. (Beispiele!) Nur wenige Körper zeigen schon bei gewöhnlicher Temperatur ein schwaches Leuchten. Die bekanntesten derartigen Körper sind Phosphor und manche verwesende Stoffe, z. B. faulendes Holz. Auch an gewissen Tieren ist die Erscheinung des Selbstleuchtens wahrzunehmen, z. B. an Johanniskäfern. Körper, welche diese Eigenschaft besitzen, heißen **phosphorescierende Körper.**

In der Umgebung stark leuchtender Körper kann man häufig Lichtstreifen wahrnehmen, die sich nach allen Seiten ausbreiten. Diese Erscheinung zeigt sich am schönsten am bewölkten Himmel, wenn das von der Sonne ausgehende Licht durch die Lücken einer vor der Sonne stehenden Wolke hindurchgeht (Fig. 147). An weniger stark leuchtenden Körpern sind zwar ähnliche Erscheinungen kaum wahrzunehmen, die Körper selbst sind jedoch von allen Seiten sichtbar, wenn sich nicht zwischen ihnen und und unserem Auge ein anderer Körper befindet, durch den wir nicht hindurchsehen können.

Fig. 147.



Von einem leuchtenden Körper geht das Licht nach allen Seiten aus.

Die Linien, welche die Fortpflanzungsrichtung des Lichtes angeben, heißen **Lichtstrahlen.** Der Stoff, durch den das Licht hindurchgeht, wird **Mittel** genannt.

Körper, welche nicht selbst leuchten, sind entweder **durchsichtig,** oder **durchscheinend,** oder **undurchsichtig** (Beispiele!). Durchsichtige Körper lassen soviel Licht durch, daß man die Gegenstände durch sie hindurch deutlich erkennen kann; durchscheinende Körper lassen zwar auch noch Licht durch, machen jedoch das Sehen undeutlich; undurchsichtige Körper sind für Licht undurchdringlich.

---

**Übungsstoff.** **1.** Nenne selbstleuchtende und dunkle K. — **2.** Welcher K. kann durch Reiben leicht leuchtend gemacht werden? — **3.** Welche Veränderung findet dabei im Zustande dieses K. statt, ehe das Leuchten beginnt? — **4.** In welchem Falle ist bei der Beurteilung, ob ein irdischer K. selbstleuchtend ist, ein möglichst dunkler Raum erforderlich, und in welchem Falle ist dies weniger nötig? (Beispiele!) — **5.** Welcher Täuschung ist man hiernach leicht ausgesetzt? — **6.** Angenommen, es sollte untersucht werden, in welchem Augenblicke ein erhitzter Eisenstab anfängt Licht auszustrahlen; wie müßte man dabei verfahren? — **7.** Wenn man ein Stück Blech in eine leuchtende Flamme hält, so lagern sich da, wo es von der Flamme berührt wird, schwarze Kohleteilchen (Ruß) darauf ab. Dies findet nicht mehr statt, wenn das Blech schon stark erhitzt ist. Worin mag es hiernach seinen Grund haben, daß die Flamme leuchtet? — **8.** Welche Unterschiede zeigen die Teile einer Kuppellampe in ihrem Verhalten gegen das Licht? — **9.** Wie verhalten sich in dieser Beziehung die Nägel unserer Finger? — **10.** Wie läßt sich Papier durchscheinend machen? (Verwendung!) — **11.** Wie verhält sich a. gewöhnliches, b. mattgeschliffenes, c. gepulvertes Glas gegen Licht; desgl. Eis, Schnee, Wasser, Wasserdampf und Wolken? — **12.** In sehr tiefen Gewässern kann man den Grund nicht sehen, wenn das W. auch ganz klar ist. Wofür ist dies ein Beweis? — **13.** Nach einem Regen ist die Luft weit durchsichtiger als nach langer Dürre. Woraus läßt sich dies schließen, und wie erklärt sich die Ersch.? — **14.** Warum werden in Neubauten die Fensterscheiben mit Kalk bespritzt?

---

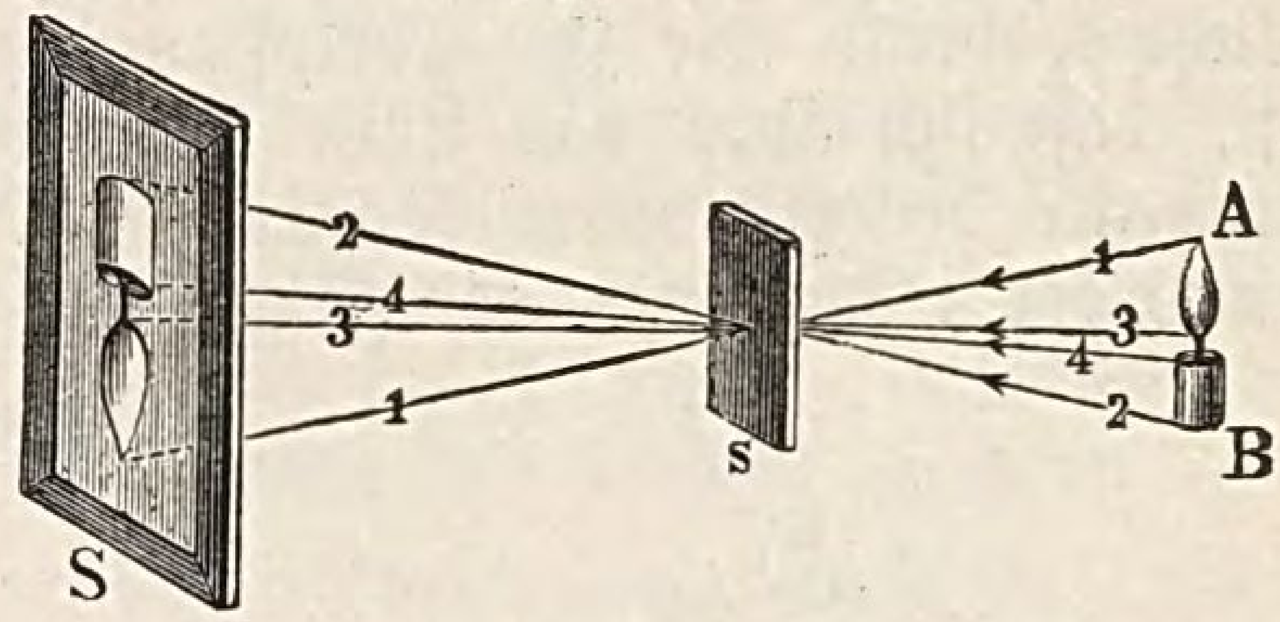
**§ 46. Geradlinige Fortpflanzung des Lichtes. Schatten. Beleuchtungsstärke. Geschwindigkeit des Lichtes.** Fällt Sonnenlicht in ein verdunkeltes Zimmer, so sieht man die Staubteilchen in geraden Linien erleuchtet; im Freien bemerkt man die geradlinige Fortpflanzung des Lichtes an den Sonnenstrahlen, wenn sie durch rauchige oder staubige Luft hindurchgehen oder

am Himmel hinter Wolken hervortreten (Fig. 147), sowie an dem Lichte heller Gasflammen oder elektrischer Lampen, wenn es durch starken Nebel dringt. Blickt man durch kleine Öffnungen beliebig weit voneinander entfernter undurchsichtiger Körper nach irgend einer Lichtquelle, so ist diese nur dann sichtbar, wenn die Öffnungen in gerader Linie liegen, vorausgesetzt, daß die Luft zwischen Auge und Lichtquelle überall die gleiche Beschaffenheit hat, oder der Lichtstrahl nicht noch durch einen anderen durchsichtigen Körper hindurchgeht.

In einem durchaus gleichartigen Mittel pflanzt sich das Licht in geraden Linien fort.

Aus der geradlinigen Fortpflanzung des Lichtes erklärt es sich, daß im verdunkelten Raume von einem Gegenstande umgekehrte Bilder entstehen, wenn die von ihm ausgehenden Strahlen durch eine kleine Öffnung auf einen durchscheinenden Schirm (S, Fig. 148) oder auf eine weiße Fläche fallen.

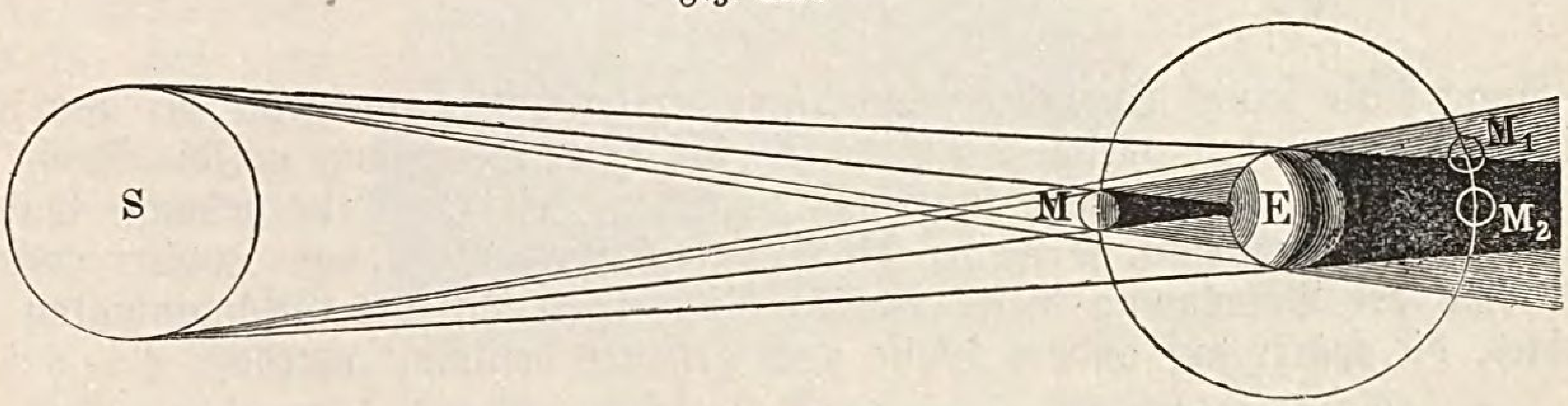
Fig. 148.




Bilder, die auf einem Schirme aufgefangen werden können, heißen **wirkliche Bilder.**

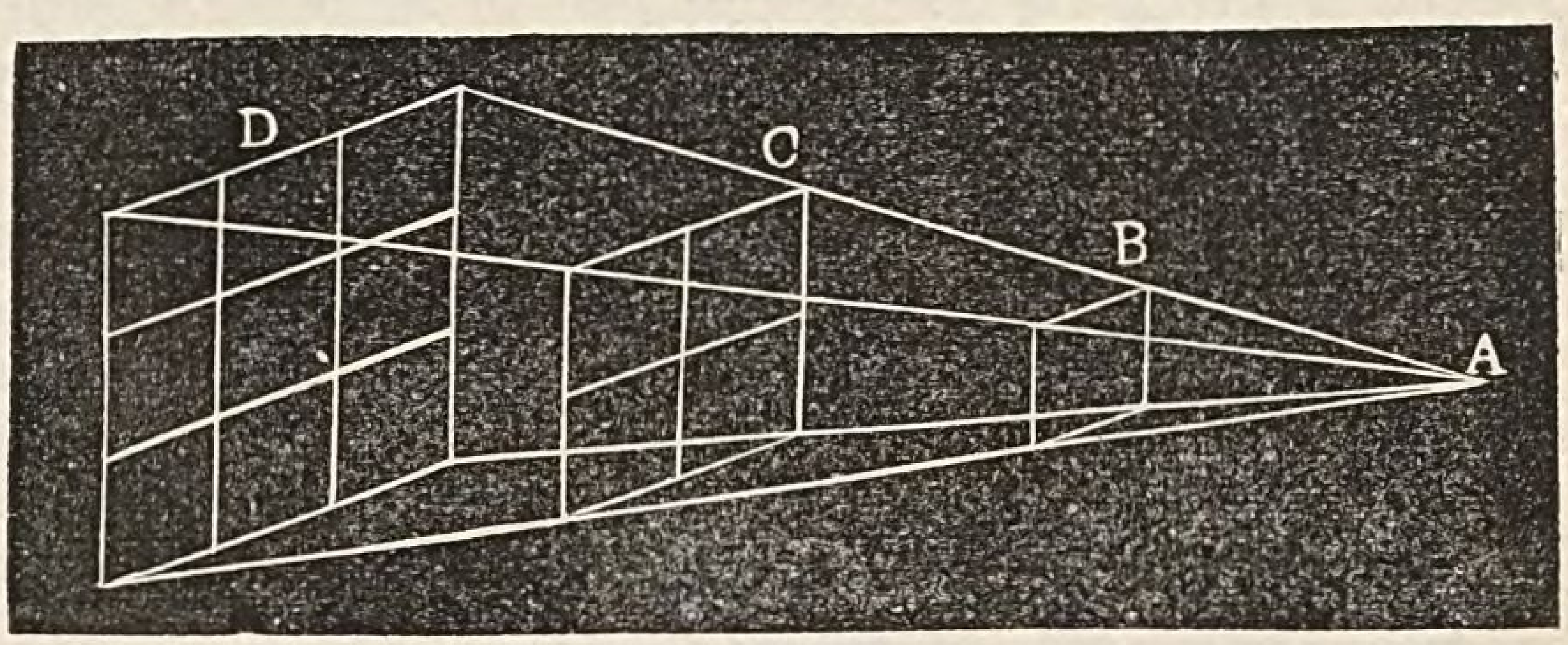
Den unbeleuchteten Raum hinter einem beleuchteten, undurchsichtigen Körper nennt man **Schatten.** Der Teil eines beschatteten Raumes, welcher von der Lichtquelle überhaupt kein Licht erhält, wird Kernschatten genannt. Halbschatten nennt man den Raum, der nur von einem Teile der Lichtquelle Licht erhält (siehe Fig. 149).

Fig. 149.




Auf der geradlinigen Fortpflanzung des Lichtes beruht auch die Entstehung der Sonnen- und Mondfinsternisse. (In Fig. 149 bedeutet S die Sonne, M den Mond, E die Erde.) Eine Verfinsterung, die auf der Erde dadurch entsteht, daß diese in den Schatten des Mondes tritt, wird **Sonnenfinsternis** genannt. — Gelangt der Mond bei seiner Umdrehung um die Erde in ihren Kernschatten, so entsteht eine **Mondfinsternis.**

Fig. 150.




Ein Versuch mit einem gegen eine Lampe gehaltenen Papierblatte zeigt, daß es um so stärker beleuchtet wird, 1) je steiler die Lichtstrahlen auffallen; 2) je näher es sich an der Lichtquelle befindet; 3) je stärker diese selbst ist.

Nach Fig. 150 verbreiten sich die von einer Lichtquelle ausgehenden Strahlen in der doppelten Ent-

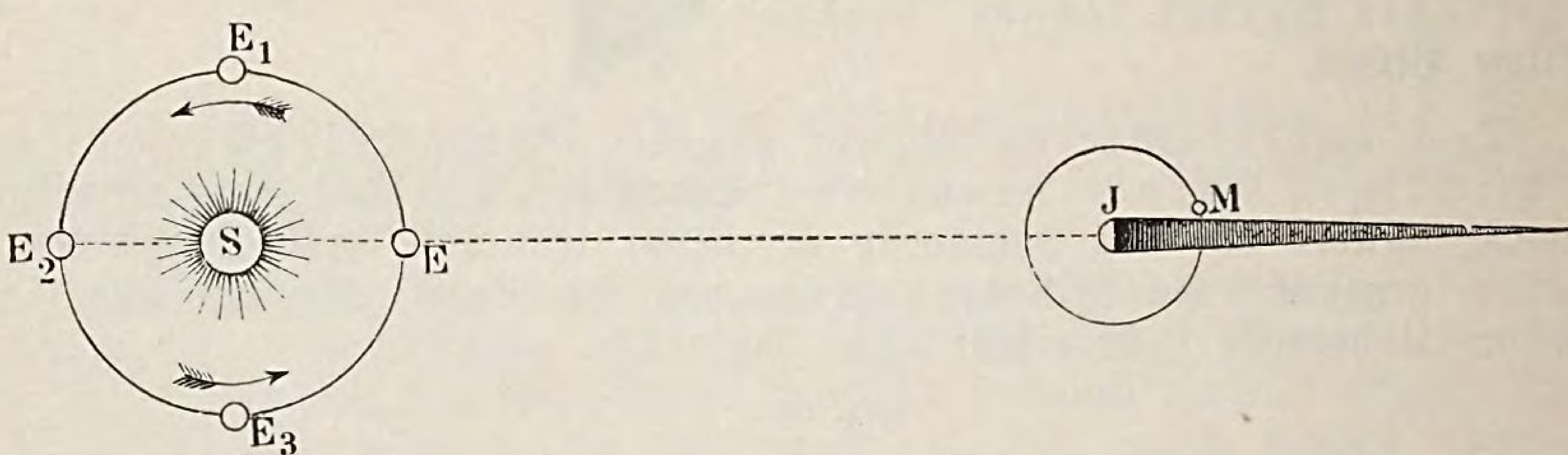
fernung über eine 4mal so große Fläche, in der 3fachen Entfernung über eine 9mal so große Fläche u. s. f. Gleichgroße Flächen erhalten somit in der doppelten Entfernung nur $\frac{1}{4}$, und in der 3fachen Entfernung nur $\frac{1}{9}$ soviel Licht, als in der einfachen Entfernung. Demnach gilt der Satz:

Die Stärke der Beleuchtung nimmt ab, wie das Quadrat der Entfernung von der Lichtquelle zunimmt.

Mittelst dieses Satzes kann man die Lichtstärke verschiedener Flammen vergleichen; wenn z. B. eine Gasflamme in einer Entfernung von 90 cm eine Fläche ebenso stark beleuchtet, wie eine Kerze in 30 cm Entfernung, so ist das Licht der Gasflamme 9mal so stark als das der Kerze.

Sehr genaue Untersuchungen haben ergeben, daß zur Fortpflanzung des Lichtes ebenso wie zur Fortpflanzung des Schalles eine gewisse Zeit erforderlich ist, daß sich aber das Licht bedeutend schneller fortpflanzt als der Schall. So entdeckte der Astronom Römer (1675) bei der Beobachtung der Verfinsterungen eines der 4 Jupitermonde (Fig. 151), daß das Licht, welches von diesem Monde (M)

Fig. 151.




im Augenblicke seines Austrittes aus dem Jupiterschatten ausgeht, bei den verschiedenen Stellungen, welche die Erde (E) bei ihrer Bewegung um die Sonne (S) einnehmen kann, nicht immer innerhalb derselben Zeit zur Erde gelangt, sondern um so länger ausbleibt, je weiter die Erde auf ihrer Bahn vom Jupiter entfernt ist. Aus der Berechnung dieser Verzögerung ergab sich die Geschwindigkeit des Lichtes, die später auf andere Weise noch genauer bestimmt wurde.

Die **Geschwindigkeit**, mit der sich das Licht im Raume fortpflanzt, beträgt 40000 Meilen oder 300000 km in 1 Sekunde.

---

**Übungsstoff.** 1. Woraus erklärt es sich, daß ein Raum von einem Punkte aus erleuchtet werden kann? — 2. Warum dürfen enge Röhren nicht gebogen sein, wenn man durch sie hindurchsehen will? — 3. Auf dem Felde sei die Richtung einer geraden Linie durch 2 Stangen angegeben; wie kann ein dritter Punkt gefunden werden, der in derselben Geraden liegt? — 4. Wie erklärt sich die umgekehrte Lage des Bildes in Fig. 148? — 5. Zu welcher Tageszeit sind die Schatten der Gegenstände im Freien am kürzesten und wann am längsten? — 6. Welche Richtung haben die Schatten morgens, mittags und gegen Abend? — 7. Von 2 ineinander verschiebbaren Röhren (Fig. 152) habe die engere einen durchscheinenden, die weitere einen undurchsichtigen Boden mit kleiner Öffnung in der Mitte. Was wird man wahrnehmen, wenn man sie hell beleuchteten Gegenständen zukehrt und hierbei die weite Öffnung vors Auge hält? Einfluß der Verschiebung? — 8. Wie ändert sich der Schatten eines Buches, welcher im direkten Sonnenlichte auf einer weißen Wand entsteht, wenn man das Buch zunächst mit der Wand parallel hält und es dann a. um eine senkrechte, b. um eine wagerechte Achse dreht? — 9. Welche Gestalt hat der Schatten einer Kugel im Sonnenlichte, wenn die Strahlen senkrecht gegen die Wand fallen und die Kugel

Fig. 152.



vor der Wand gedreht wird? — 10. Der Schatten, der bei Mondfinsternissen von der Erde auf dem Monde entsteht, ist immer kreisförmig begrenzt. Was läßt sich hieraus schließen? — 11. Wievielmal so groß ist die Geschw. des Lichtes als die des Schalles? — 12. In wv. Sek. gelangt das Licht a. vom Monde, b. von der Sonne zu uns? Ersterer ist 50 000, letztere 20 Millionen Meilen von der Erde entfernt. — 13. Mittelst guter Fernrohre lassen sich mancherlei Erschn. auf der Sonne beobachten. Wv. Zeit liegt zwischen dem Augenblicke, in dem diese Erschn. wahrgenommen werden, und demjenigen, in welchem das Beobachtete wirklich stattfand? — 14. Was ist in dieser Beziehung anzuführen über die auf der Erde vorkommenden Erscheinungen a. des Lichtes, b. des Schalles?

---

**§ 47. Zurückwerfung des Lichtes. Ebene Spiegel.** Glatte Flächen zeigen im Lichte sehr häufig Erscheinungen, welche deutlich erkennen lassen, daß Lichtstrahlen ähnlich wie Schallstrahlen an der Oberfläche der von ihnen getroffenen Körper ihre Fortpflanzungsrichtung ändern (Glanz weit entfernter Fensterscheiben beim Auf- und Untergange der Sonne, Lichtschein von Flammen durch Blendscheiben u. dgl.) Da die Strahlen hierbei in dasselbe Mittel wieder zurückkehren, durch welches sie hindurchgegangen sind, so wird ihre Richtungsänderung **Reflexion** oder **Zurückwerfung des Lichtes** genannt.

Glatte Flächen, die das Licht so zurückwerfen, daß von den vor ihnen befindlichen Gegenständen Bilder entstehen, heißen **spiegelnde Flächen.**

Fig. 153 zeigt, daß Lichtstrahlen von einem ebenen Spiegel unter demselben Winkel zurückgeworfen werden, unter dem sie einfallen. (Der Zeiger ab steht senkrecht auf dem drehbaren Spiegel, os ist ein Spalt, durch den das Licht eintritt; wird der Spiegel a gedreht, so sind die Winkel sab und $s_1ab$ immer einander gleich.) Vergl. auch Fig. 154!

Fig. 153.

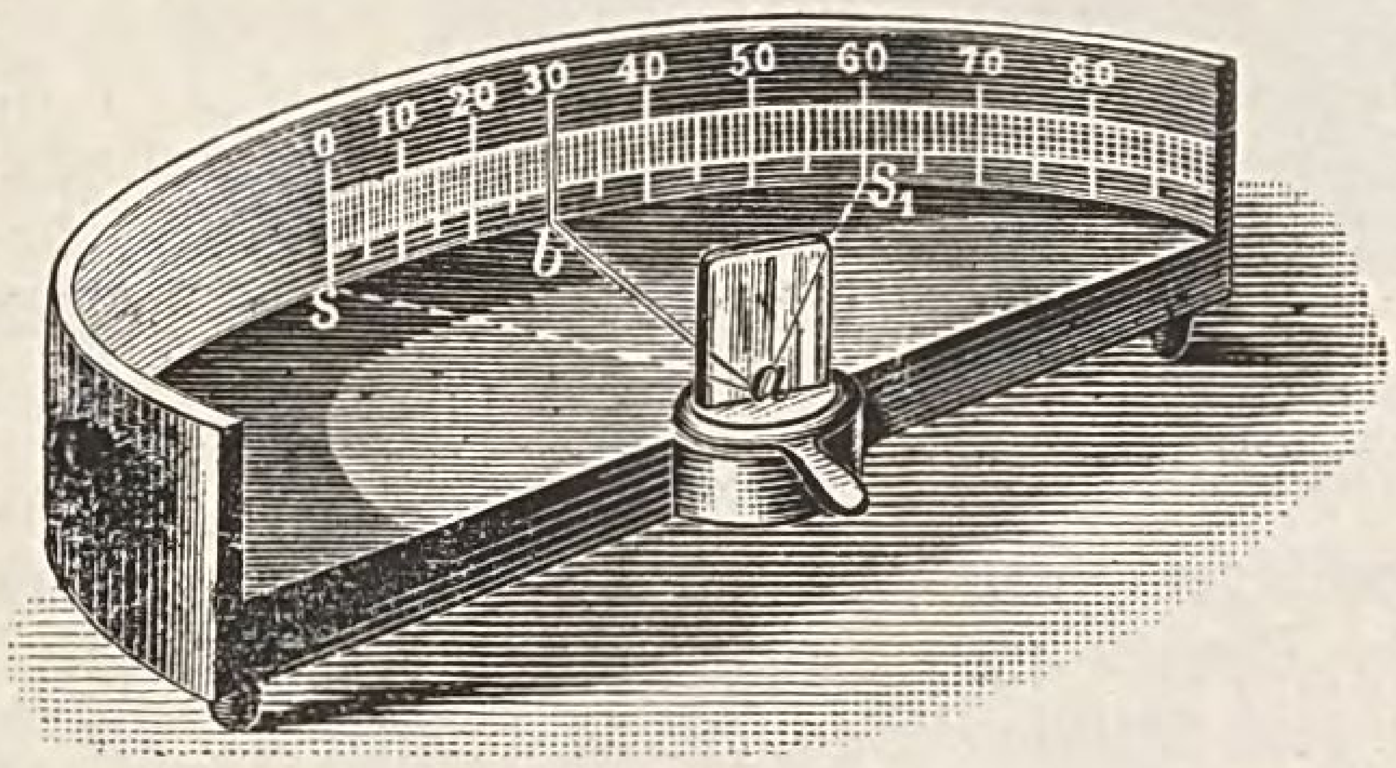
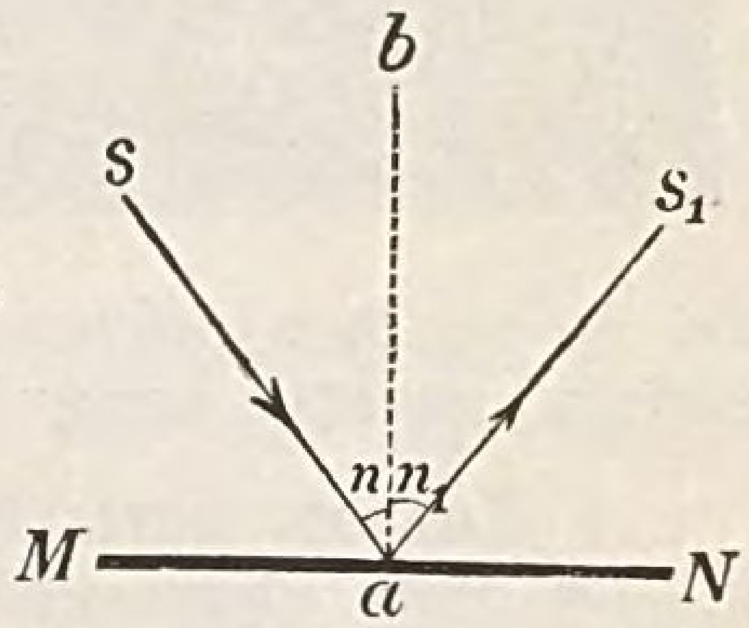



Fig. 154.




Der vom Einfallsstrahle und dem Einfallslote gebildete Winkel (∢ sab) wird **Einfallswinkel,** der zwischen dem Einfallslote und dem zurückgeworfenen Strahle liegende Winkel (∢ $bas_1$) **Ausfallswinkel** oder **Reflexionswinkel** genannt.

1) Der zurückgeworfene Strahl liegt in derselben Ebene, in welcher der einfallende Strahl und das Einfallslot liegen. 2) Der Reflexionswinkel ist gleich dem Einfallswinkel: **Reflexionsgesetz.**

Bilder durch ebene Spiegel.

Hält man eine brennende Kerze oder irgend einen anderen Gegenstand in verschiedenen Lagen und Entfernungen einem ebenen Spiegel gegenüber (Fig. 155 und 156), so überzeugt man sich leicht von der Richtigkeit des Satzes:

Bei einem **ebenen** oder **Planspiegel** erscheint das Bild

Fig. 155.

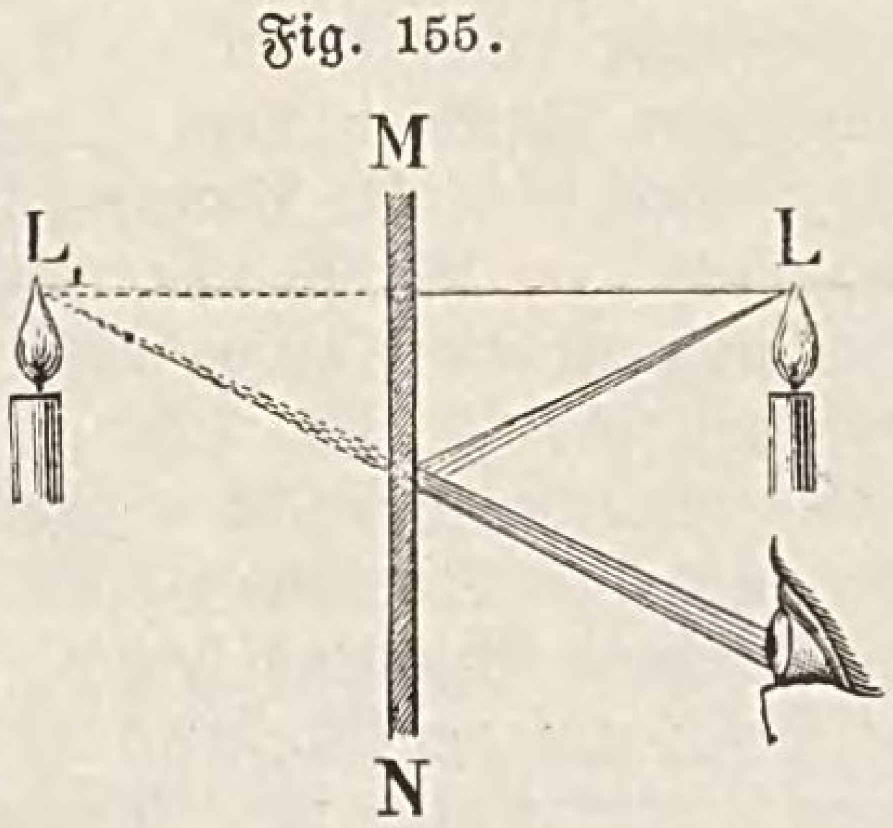
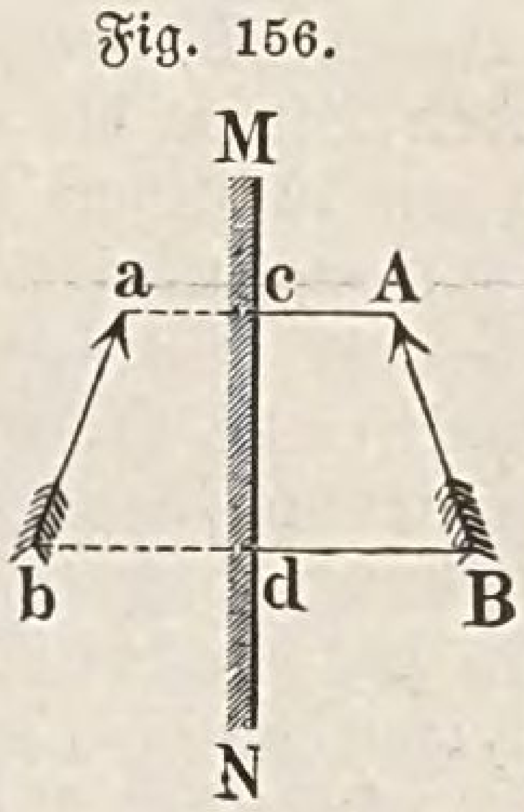



Fig. 156.

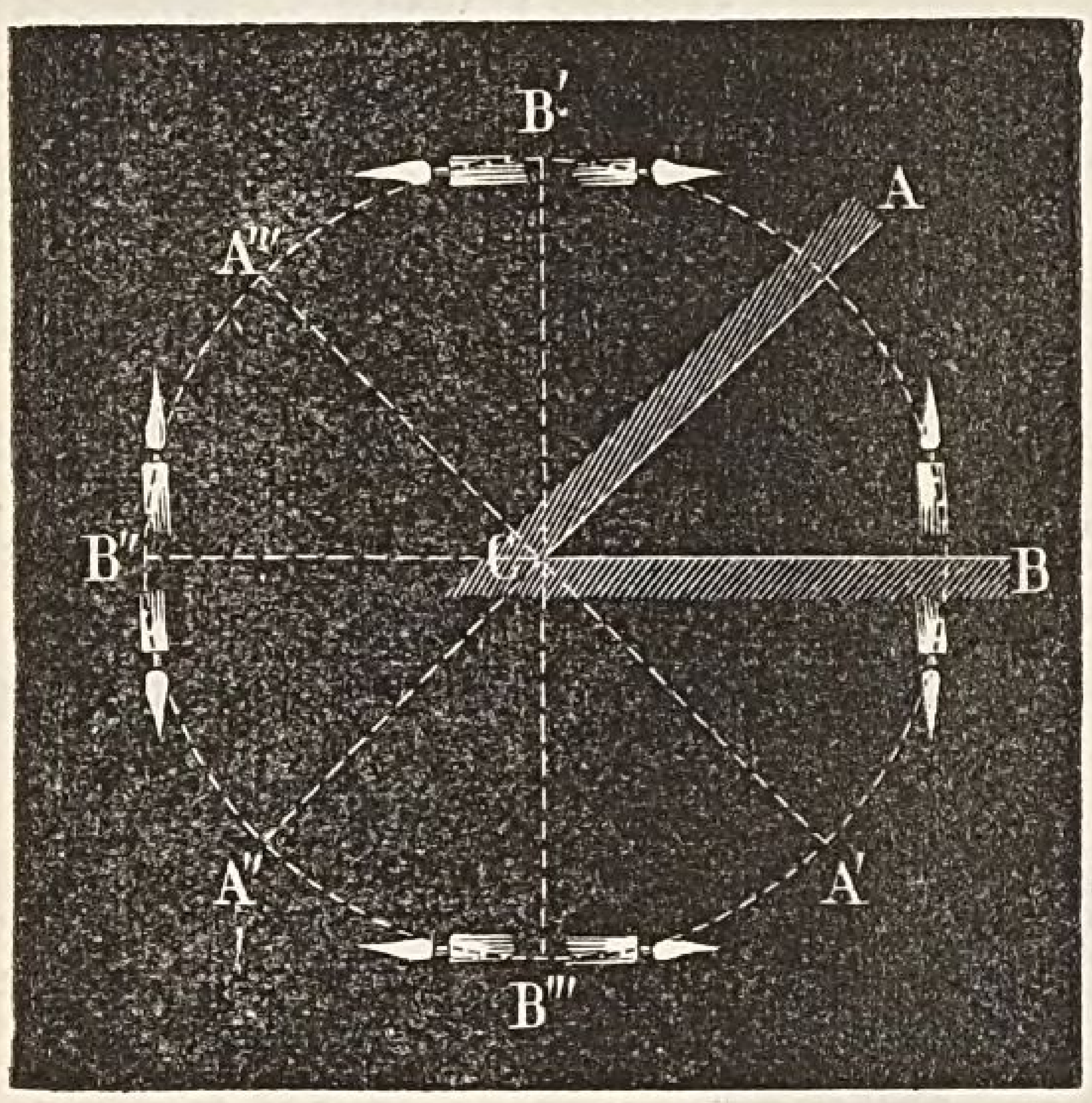


eines Gegenstandes ebenso weit hinter der spiegelnden Fläche, als sich der Gegenstand vor der Fläche befindet, und zwar in solcher Lage, daß die Verbindungslinie von Bild und Gegenstand zur Ebene des Spiegels senkrecht steht. Bild und Gegenstand haben gleiche Größe und Gestalt, aber die rechte und linke Seite des Bildes, verglichen mit dem Gegenstande, sind vertauscht.

Die durch ebene Spiegel entstehenden Bilder sind in *Wirklichkeit nicht vorhanden* und werden daher **scheinbare** Bilder genannt.

Werden zwei Spiegel unter einem Winkel gegeneinander gestellt, so entstehen von einem Gegenstande mehrere Bilder (Fig. 157); ihre Anzahl wird um so größer, je mehr man den Winkel verkleinert. Hierauf beruht die Einrichtung des **Kaleidoskops** oder *Schönguckers*. — Feldmesser wenden zum Abstecken von rechten Winkeln Winkelspiegel an, die aus zwei kleinen, unter 45° gegeneinander geneigten Spiegeln bestehen.

Fig. 157.




Die allgemeinste Anwendung im täglichen Leben findet die *Zurückwerfung* des Lichtes durch die *gewöhnlichen Glasspiegel*. Diese sind auf ihrer Rückseite mit einer dünnen Schicht von Zinnamalgam belegt.

*Durch unebene* (rauhe) *Flächen werden die Strahlen nach allen Richtungen hin zurückgeworfen:* **Unregelmäßige Zurückwerfung** oder **Zerstreuung des Lichtes.** Hieraus erklärt es sich, daß die meisten Körper von allen Seiten sichtbar sind, während spiegelnde Flächen um so weniger gesehen werden können, je glatter sie sind, und dann nur durch starke Spiegelung oder durch ihre Umrahmung bemerkbar werden.

Aus der unregelmäßigen Zurückwerfung und Zerstreuung des Sonnenlichtes an den in der Luft schwebenden Staub- und Wasserdampfteilchen erklärt sich die Tageshelle in solchen Räumen, in die kein direktes Sonnenlicht fällt; auf der Zurückwerfung desselben in den höheren Luftschichten beruht die **Morgen-** und **Abenddämmerung.**

---

**Übungsstoff.** **1.** Warum zeigen weit entfernte Fensterscheiben nur bei tiefem Sonnenstande einen starken (feurigen) Glanz? — **2.** Welche Stellung muß der Beobachter zur Sonne und Fensterscheibe einnehmen, damit diese Ersch. eintritt? — **3.** Durch welche Änderungen der Stellung a. des Beobachters, b. der Scheibe verschwindet die Ersch.? — **4.** Gesetzt, der Spiegel in Fig. 153 sei zunächst um 5° und darauf um 15° gedreht. Um wv. würde sich dann der Lichtstreifen jedesmal gedreht haben? — **5.** Um wv. Grad muß man einen Spiegel aus seiner senkrechten Lage drehen, damit das Bild des eigenen K. aus der senkrechten in die wagerechte Lage übergeht; um wv. Grad ferner, damit der Kopf im Bilde nach unten gerichtet ist? — **6.** Wie erklärt es sich, daß die Gegenstände am Ufer eines Gewässers im W. umgekehrt erscheinen? — **7.** Woran ist es ohne Lot leicht zu erkennen, ob ein am W. stehendes Gebäude schief steht? — **8.** Abends ist von einer im Zimmer brennenden Lampe bei geschlossenen Fenstern vom Zimmer aus ein mattes Bild sichtbar, das draußen zu stehen scheint. Erkl.! — **9.** Warum kann ein solches Bild nicht so hell sein, als ein eigentliches Spiegelbild? — **10.** Wende dies auch auf die im W. entstehenden Bilder an. — **11.** Welcher Täuschung ist man ausgesetzt, wenn die Rückwand eines sogen. Glasschrankes aus Spiegelglas besteht? — **12.** Wie ist es zu erreichen, daß die hinter einem Schaufenster liegenden Gegenstände aufrecht erscheinen? — **13.** Welchen Einfluß übt die Abnutzung einer Eisfläche auf ihre Sichtbarkeit aus, u. w.? — **14.** Warum sieht man ein Bild, das an der Rückwand eines Zimmers hängt, in welches das Licht nur von vorn einfällt, gewöhnlich von der Seite am deutlichsten? — **15.** Warum ferner ein an der Seitenwand hängendes Bild vom Hintergrunde des Zimmers aus am undeutlichsten? — **16.** In-

wiefern kann die Himmelsgegend, nach der ein Zimmer liegt, einen Einfluß auf die Deutlichkeit ausüben, mit der man die an den Wänden hängenden Bilder sieht?

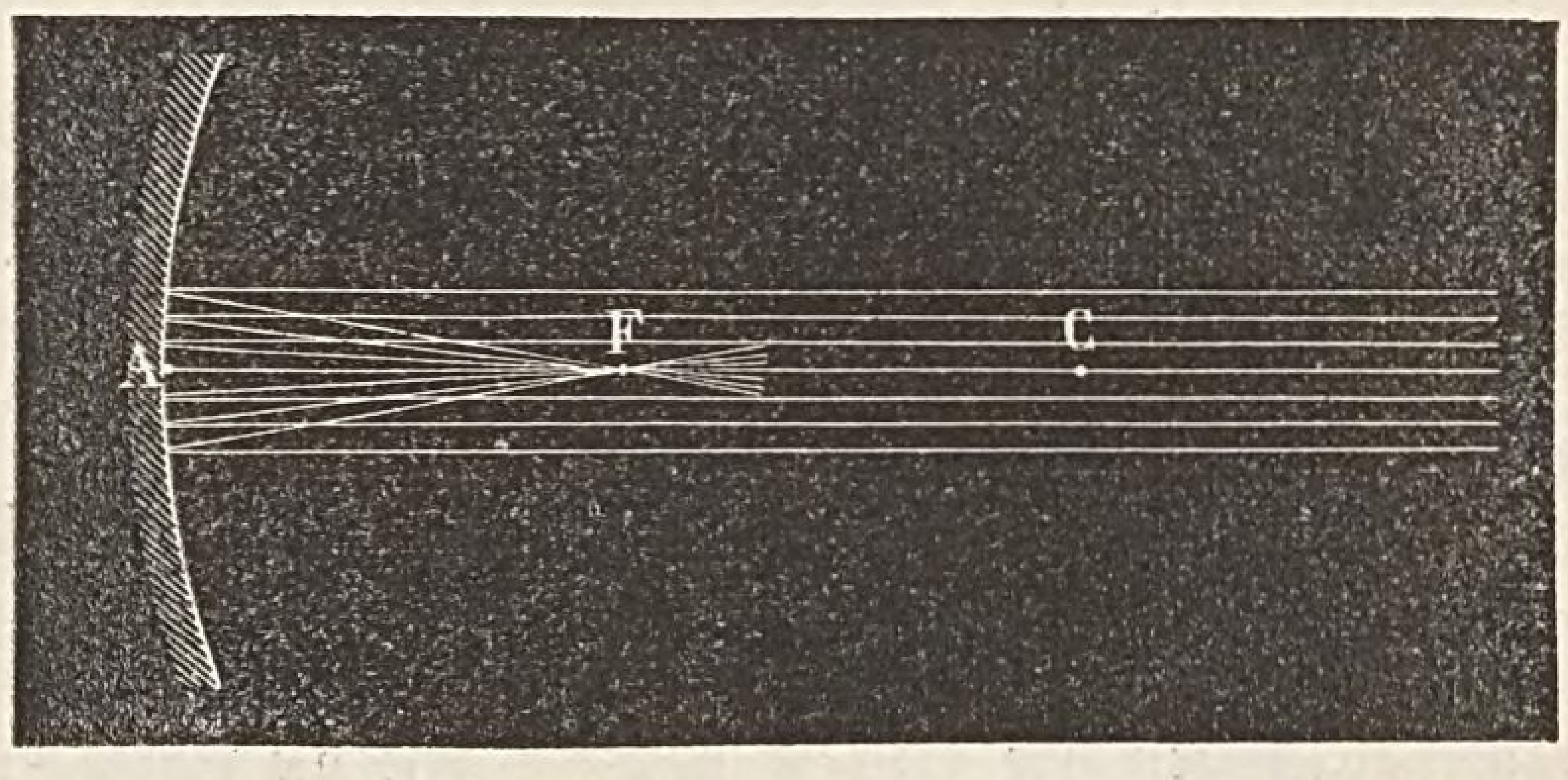
---

## § 48*. Zurückwerfung des Lichtes durch gekrümmte Spiegel.

Außer den ebenen Spiegeln werden vielfach auch gekrümmte Spiegel angewandt. Man findet sie z. B. hinter den Flammen der Flurlampen und in den Laternen von Kutschwagen, Lokomotiven u. s. w. als sogen. Blendscheiben angebracht; auch die großen Glaskugeln in Gärten sind gekrümmte Spiegel. — Je nachdem die spiegelnde Fläche von der hohlen oder von der erhabenen Seite gebildet wird, bezeichnet man die gekrümmten Spiegel als Hohlspiegel oder als erhabene Spiegel (Konkav- oder Konvexspiegel).

Läßt man Sonnenstrahlen auf einen **Hohlspiegel** fallen, dessen spiegelnde Fläche kugelförmig gekrümmt ist, so erscheint auf einem mitten vor dem Spiegel befindlichen schmalen Streifen Papier ein blendend heller Punkt: **Brennpunkt des Spiegels** (F, Fig. 158). Das Papier entzündet sich an dieser Stelle. Dies erklärt sich daraus, daß sich die Strahlen, die den Spiegel in paralleler Richtung treffen, nach ihrer Zurückwerfung in diesem Punkte vereinigen. — Welche Richtungsänderung würden nach Fig. 158 die Strahlen eines hell leuchtenden Punktes durch den Hohlspiegel erfahren, wenn sie vom Brennpunkte F ausgingen?

Fig. 158.



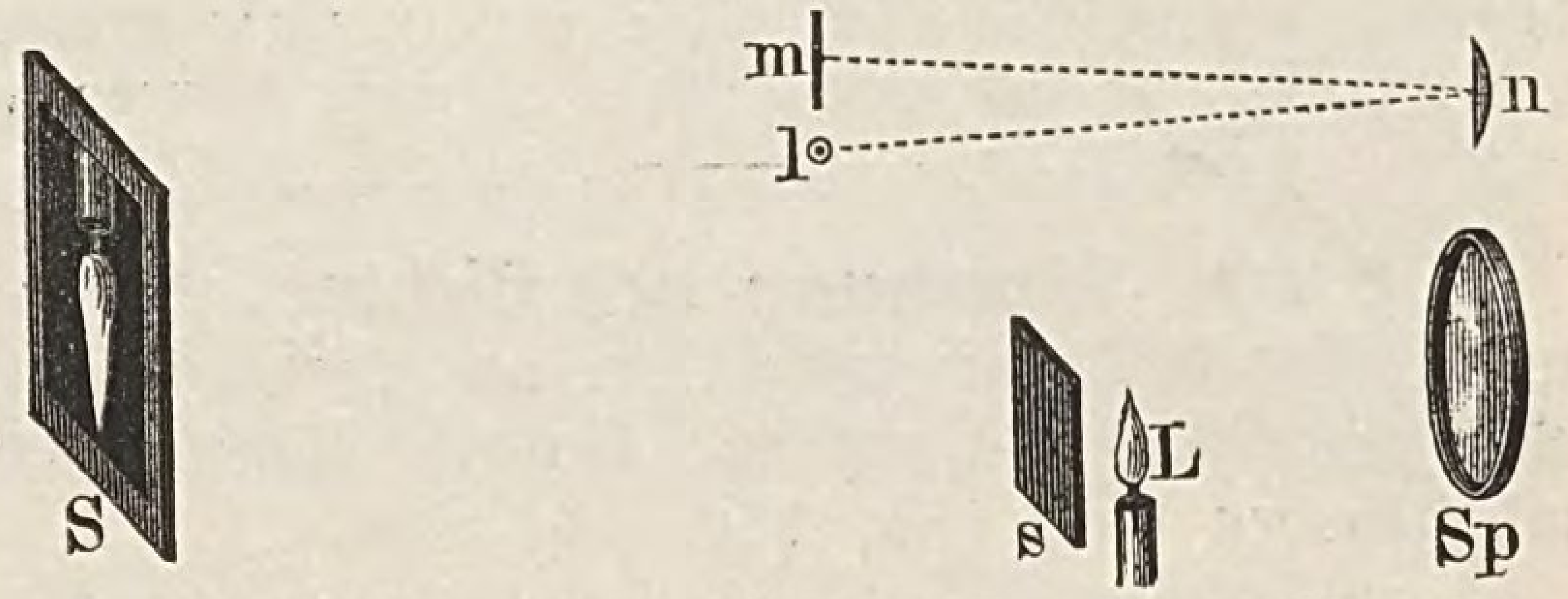

Die gerade Linie, welche von der Mitte (A, Fig. 158) eines kugelförmig gekrümmten Hohlspiegels bis zum Mittelpunkte (C) der Kugel geht, von welcher der Spiegel einen Abschnitt bildet, heißt Achse des Spiegels (AC).

Ein Hohlspiegel wirkt 1) als **Brennspiegel,** da die mit seiner Achse parallelen Strahlen nach dem Brennpunkte zurückgeworfen werden, 2) als **Beleuchtungsspiegel,** da die von seinem Brennpunkte ausgehenden Strahlen parallel zur Achse zurückkehren.

### Bilder durch kugelförmig gekrümmte Spiegel.

Wird ein heller Gegenstand, etwa eine Flamme, nahe vor einen **Hohlspiegel** gehalten und dann mehr und mehr vom Spiegel entfernt, so erhält man folgende Erscheinungen: 1) Bis man den Brennpunkt erreicht hat, ist wie beim ebenen Spiegel ein aufrechtes Bild im Spiegel sichtbar, das aber immer größer wird; 2) darauf zeigt sich eine Erscheinung, die beim ebenen Spiegel nicht vorkommt, indem vor dem Spiegel ein immer kleiner werdendes umgekehrtes Bild entsteht, das aus großer Entfernung dem Brennpunkte allmählich näher rückt. Im verdunkelten Zimmer kann dieses Bild auf einem Schirme (S, Fig. 159) sichtbar gemacht werden.

Fig. 159.



In Fig. 159 bedeutet ln die den Spiegel treffenden, nm die vom Spiegel zurückgeworfenen Strahlen für den besonderen Fall, daß die Flamme (l) doppelt so weit als der Brennpunkt vom Spiegel entfernt ist (vergl. Fig. 158, Punkt C). In diesem Falle sind Bild und Flamme gleichgroß.

Befindet sich ein Gegenstand **innerhalb der Brennweite** eines hohlen Kugelspiegels, so erblickt ein vor dem Spiegel befindliches Auge hinter dem Spiegel ein aufrechtes, scheinbares Bild.

Von einem **außerhalb der Brennweite** befindlichen Gegenstande entsteht vor einem hohlen Kugelspiegel ein umgekehrtes, wirkliches Bild.

Wird ein **erhabener Spiegel** gegen die Sonne gehalten, so gehen die Strahlen nach ihrer Zurückwerfung weiter auseinander. Durch einen erhabenen Kugelspiegel entstehen (wie beim ebenen Spiegel) nur scheinbare Bilder, die aber um so kleiner werden, je weiter sich Gegenstand und Spiegel voneinander entfernen.

Anwendung gekrümmter Spiegel: Im praktischen Leben werden namentlich Hohlspiegel angewandt. Man benutzt sie entweder zur einseitigen Verbreitung des Lichtes, um z. B. den nahe vor einer Flamme befindlichen Raum möglichst stark zu erleuchten (Blendscheiben in Laternen, Flurlampen u. s. w.), oder um das Licht einer Lichtquelle auf eine möglichst weite Strecke hin sichtbar zu machen (z. B. Hohlspiegel vor Lokomotiven, auf Leuchttürmen u. s. w.). Im ersteren Falle ist die Regelmäßigkeit der Krümmung weniger wichtig. Auf Leuchttürmen wurden seit dem Ende des vorigen Jahrhunderts feststehende oder drehbare Spiegelapparate angewandt, um den Schiffern die Nähe der Küste und den sicheren Weg zum Hafen anzuzeigen. Wegen verschiedener Unzuträglichkeiten hat man in neuerer Zeit die Spiegelapparate durch andere, vollkommnere Apparate ersetzt (vergl. Seite 78). — Noch im Mittelalter zündete man auf den Leuchttürmen nur große, weithin sichtbare Feuer an.

---

**Übungsstoff.** 1. Man stelle sich vor, der in Fig. 158 dargestellte Spiegel sei zunächst eben und werde dann immer stärker kugelförmig gekrümmt, wie würde sich die Richtung der zurückgeworfenen Strahlen ändern? — 2. Im hellen Sonnenscheine läßt sich die in Fig. 158 dargestellte Ersch. dadurch sichtbar machen, daß man vor dem Spiegel dichten Rauch aufsteigen läßt. Erkl.! — 3. Man denke sich in Fig. 158 von den Fußpunkten der beiden äußersten Strahlen nach dem Mittelpunkte C der zugehörigen Hohlkugel Halbmesser gezogen. Dadurch wird der Winkel, den der einfallende Strahl mit dem zurückgeworfenen Strahle bildet, in 2 gleiche Teile geteilt. Beurteile hiernach, wie sich die Richtungen der zurückgeworfenen Strahlen ändern müssen, wenn dem Spiegel vom Brennpunkte aus eine kleine, sehr hell leuchtende Flamme immer mehr genähert wird. (Größe des Lichtscheines!) — 4. Hohlspiegel werden auch Sammelspiegel, erhabene Spiegel Zerstreuungsspiegel genannt; warum wohl? — 5. Wie ließe sich aus einem kugelschaligen Uhrgläschen a. ein kleiner Hohlspiegel, b. ein erhabener Spiegel herstellen? — 6. Mittelst eines Hohlspiegels will man einen Lichtschein möglichst weithin werfen, ein andermal aber eine ziemlich große, nahe gelegene Fläche erhellen. Wo muß in beiden Fällen die Flamme angebracht werden? — 7. Bei welchen der 3 Spiegelarten zeigen die Reflexionserscheinungen die meiste Übereinstimmung? — 8. Bei hellem Sonnenscheine kann das in einem nahe am Fenster stehenden Glase befindliche W. „zitternde Kringeln an die Wand malen". Erkläre a. die Entstehung des Lichtscheines, b. dessen Bewegung und unregelmäßige Gestalt.

---

**§ 49. Brechung des Lichtes.** Wenn man einen geraden Stab schräg ins Wasser stellt, so erscheint er am Wasserspiegel geknickt, und zwar so, daß jeder unter dem Wasserspiegel liegende Punkt des Stabes von seiner Stelle gerückt und gehoben wird (Fig. 160, folg. Seite).

Da wir einen Gegenstand immer in der geradlinigen Verlängerung der in unser Auge fallenden Lichtstrahlen erblicken, so müssen demnach die Strahlen,

die vom Stabe aus zunächst durch das Wasser hindurchgehen, beim Übergange in die Luft nach abwärts abgelenkt werden.

Die Ablenkung, die ein Lichtstrahl beim Übergange aus Wasser in Luft und umgekehrt aus Luft in Wasser erleidet, läßt sich mit Hilfe eines halbkreisförmigen Gefäßes (Fig. 161) bestätigen, das bis zur halben Höhe mit Wasser gefüllt wird. Der von außen durch einen schmalen Spalt in das Gefäß eindringende Lichtschein bleibt im Wasser hinter seiner ursprünglichen Richtung um so weiter zurück, je schräger man die Strahlen einfallen läßt. Der Strahl nimmt somit beim Eintritte in das Wasser eine Richtung an, die sich dem an der Eintrittsstelle auf der Grenzfläche zwischen Luft und Wasser errichteten Lote (Einfallslote) nähert.

Fig. 160.

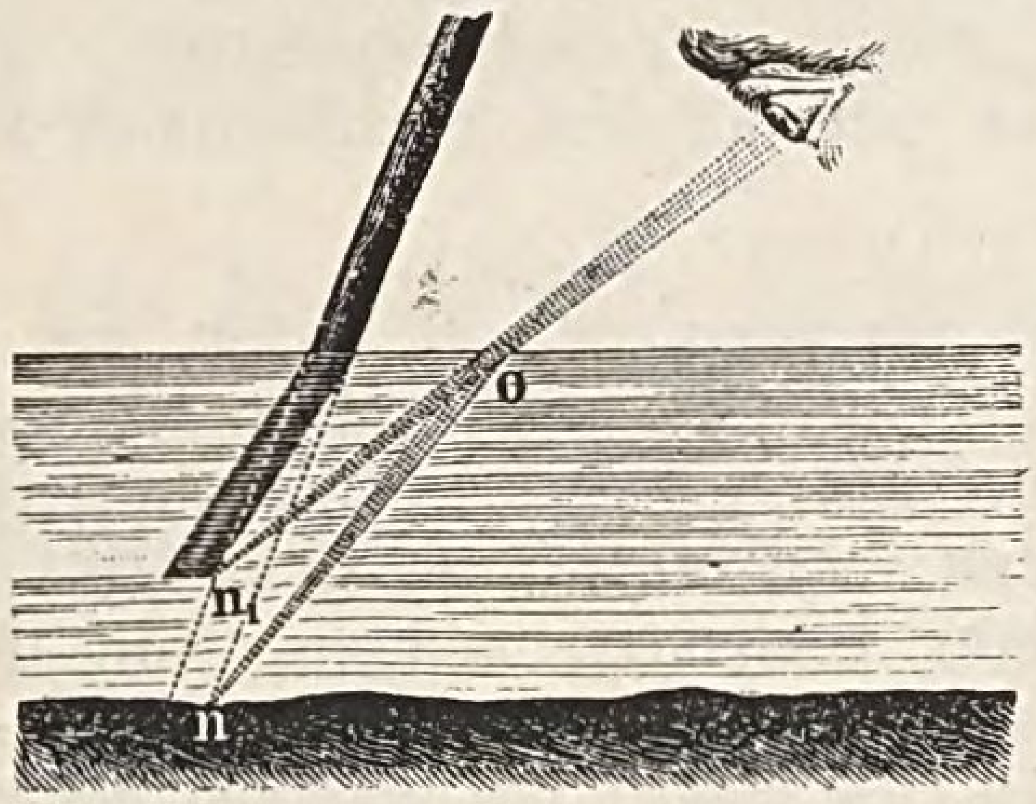
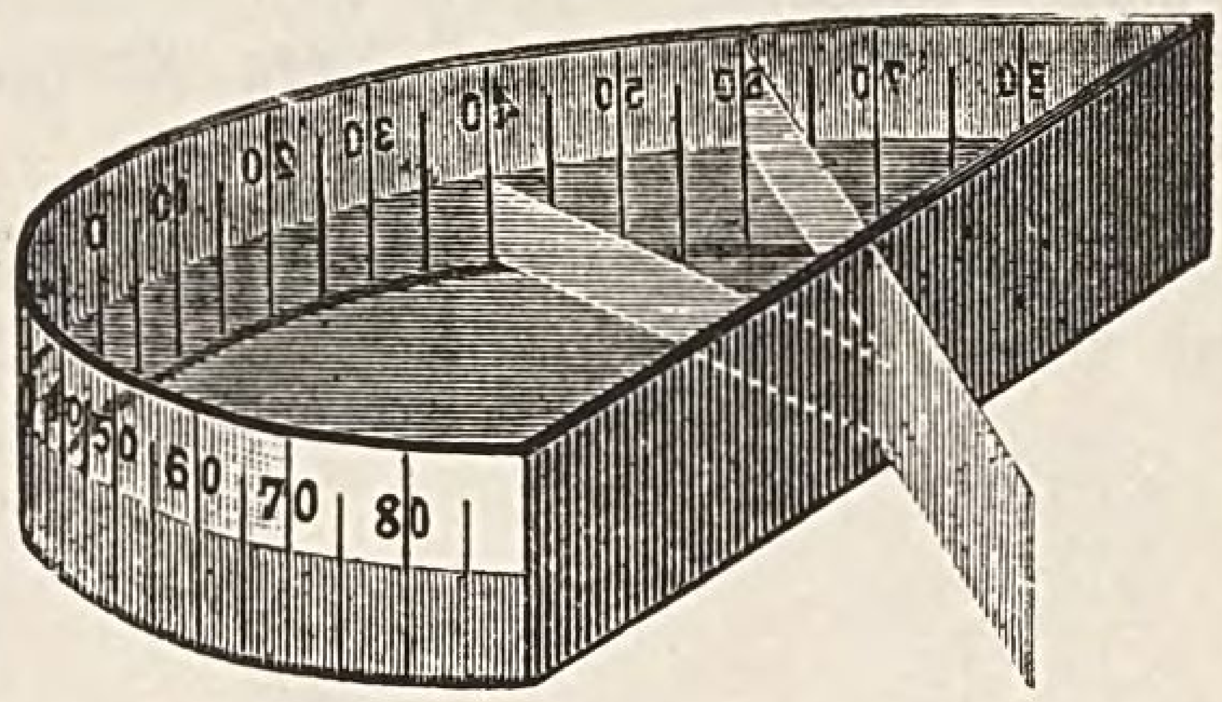



Fig. 161.



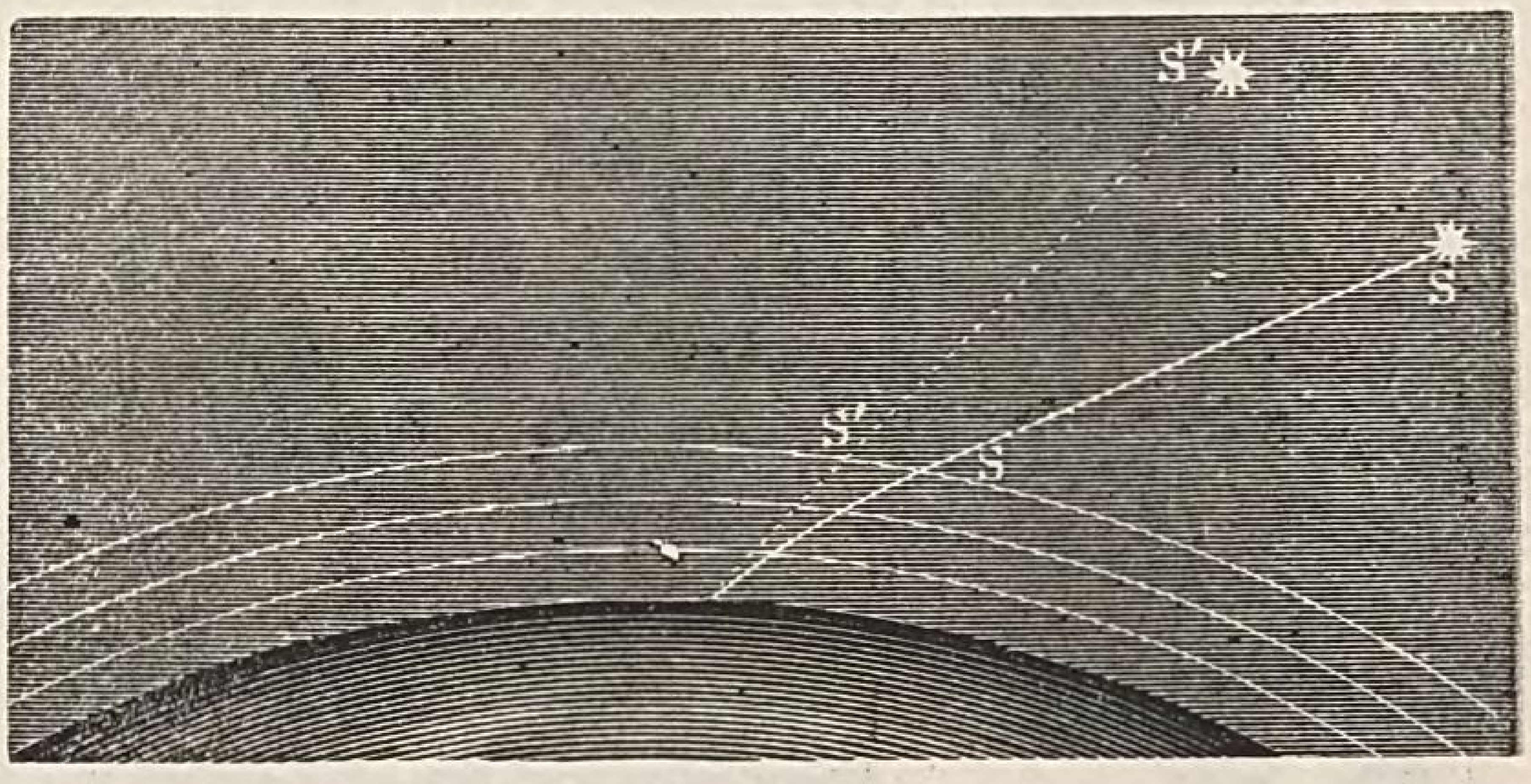
Geht ein Lichtstrahl umgekehrt aus dem Wasser in die Luft über, so wird er von seiner ursprünglichen Richtung ebenfalls abgelenkt, und zwar so, daß er sich von dem Einfallslote entfernt (vergl. Fig. 165). Nur die Strahlen, welche senkrecht austreten, erleiden keine Ablenkung. Es ergiebt sich demnach das **Brechungsgesetz:**

Geht ein Lichtstrahl aus einem dünneren in ein dichteres Mittel über, so wird er nach dem Einfallslote hin gebrochen; geht der Strahl dagegen aus einem dichteren in ein dünneres Mittel über, so wird er vom Einfallslote weg gebrochen.

Beispiele. Sonnenstrahlen, welche schräg auf eine Wasserfläche fallen, haben im Wasser eine steilere Richtung; Strahlen, welche umgekehrt von Gegenständen im Wasser ausgehen und den Wasserspiegel in schräger Richtung treffen, sind in der Luft flacher gerichtet. Deshalb scheint jedes klare Gewässer, dessen Boden wir sehen können, flacher zu sein, als es wirklich ist; Kähne und Schiffe erscheinen, von außen durch das Wasser hindurch betrachtet, weniger tief als sie sind; Fische scheinen dem Wasserspiegel näher zu sein u. s. w.

Manche Körper vermögen das Licht stärker zu brechen als andere. So werden die Lichtstrahlen z. B. durch Weingeist, Petroleum und andere leicht brennbare Flüssigkeiten stärker gebrochen als durch Wasser, noch stärker durch Glas, am stärksten durch Diamant.

Fig. 162.

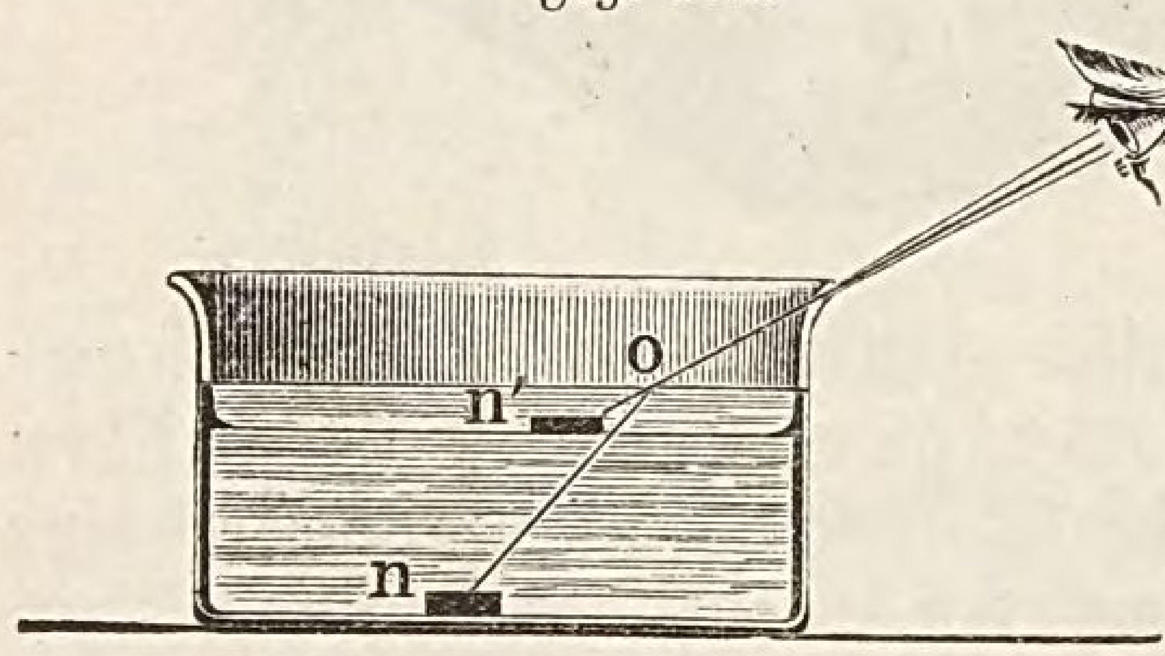



Die Sonnenstrahlen erleiden auf ihrem Wege zur Erde eine Ablenkung durch die ungleich dichten Luftschichten (Fig. 162). Sonne, Mond und Sterne können daher schon gesehen werden, wenn sie in Wirklichkeit noch unter dem Horizonte stehen. Je höher sie am Himmel stehen, um so mehr erblickt man sie in der Richtung, in der sie sich wirklich befinden; je tiefer sie stehen, um so mehr erscheinen sie gehoben. Man nennt diese Erscheinung die **atmosphärische Strahlenbrechung.**

Auch weit entfernte irdische Gegenstände erscheinen bisweilen infolge der atmosphärischen Strahlenbrechung ein wenig gehoben. Diese Erscheinung wird hin und wieder in der Nähe des Meeres wahrgenommen, besonders in den frühen Morgenstunden heiterer Tage, indem weit entfernte Küsten sichtbar werden, die bei klarer Luft sonst nicht gesehen werden können. So ist von England aus bisweilen die französische Küste sichtbar, desgl. von Unteritalien aus die Küste von Sicilien mit Palästen, Ruinen und Bäumen, die in der Luft schwanken. Derartige Erscheinungen werden in Italien **Fata Morgana** und an den norddeutschen Küsten **Kimmung** genannt.

**Übungsstoff.** 1. Worin stimmen Brechung und Reflexion des Lichtes überein, und wodurch unterscheiden sie sich? — 2. Welche Ersch. ist in Fig. 163 dargestellt? (n sei eine Münze.) — 3. Wie ändert sich die Ersch., wenn man die Münze (Fig. 163) nach Angabe der Figur betrachtet, während das Gefäß mit einem Saugheber wieder geleert wird? — 4. Angenommen, der Boden des Gefäßes bestehe aus Glas und sei bis auf eine kleine Öffnung außen mit undurchsichtigem Papier beklebt; das W. sei durch Kreidestaub etwas getrübt und der durch ein Blatt Papier verdeckte Raum über dem W. enthalte ein wenig Rauch. Welche Ersch. würde sich dann zeigen, wenn man von unten recht helles Lampenlicht in das W. eintreten ließe? — 5. Um Fische im W. zu schießen, zu stechen oder zu greifen, muß die Lichtbrechung beachtet werden; w.? — 6. Inwiefern muß hierbei a. auf die Richtung, b. auf die Tiefe, in der man die Fische sieht, Rücksicht genommen werden? — 7. Wie werden die Räder eines bis an die Achsen in ruhigem, klarem W. stehenden Wagens aussehen, wenn man sie schräg von oben betrachtet? — 8. Was wird sich infolge der Lichtbrechung ergeben, wenn man eine Hand senkrecht in W. untertaucht und sie dann mit der andern Hand vergleicht? — 9. Welche eigentümliche Änderung wird scheinbar an der Gestalt eines Badenden eintreten, wenn dieser immer tiefer ins W. hineingeht? — 10. Wenn man über ein von der Sonne stark erhitztes Dach oder über einen heißen Ofen hinweg Gegenstände betrachtet, so scheinen sie zu zittern. Grund! — 11. Warum können die Lichtstreifen in Fig. 147, wenn sie sehr lang sind, nicht ganz geradlinig verlaufen? — 12. Wie muß ein auf die Erde gelangender Sonnenstrahl die Atmosphäre treffen, um seine ursprüngliche Richtung beizubehalten? — 13. Wie aber, um eine starke Ablenkung zu erfahren?

Fig. 163.



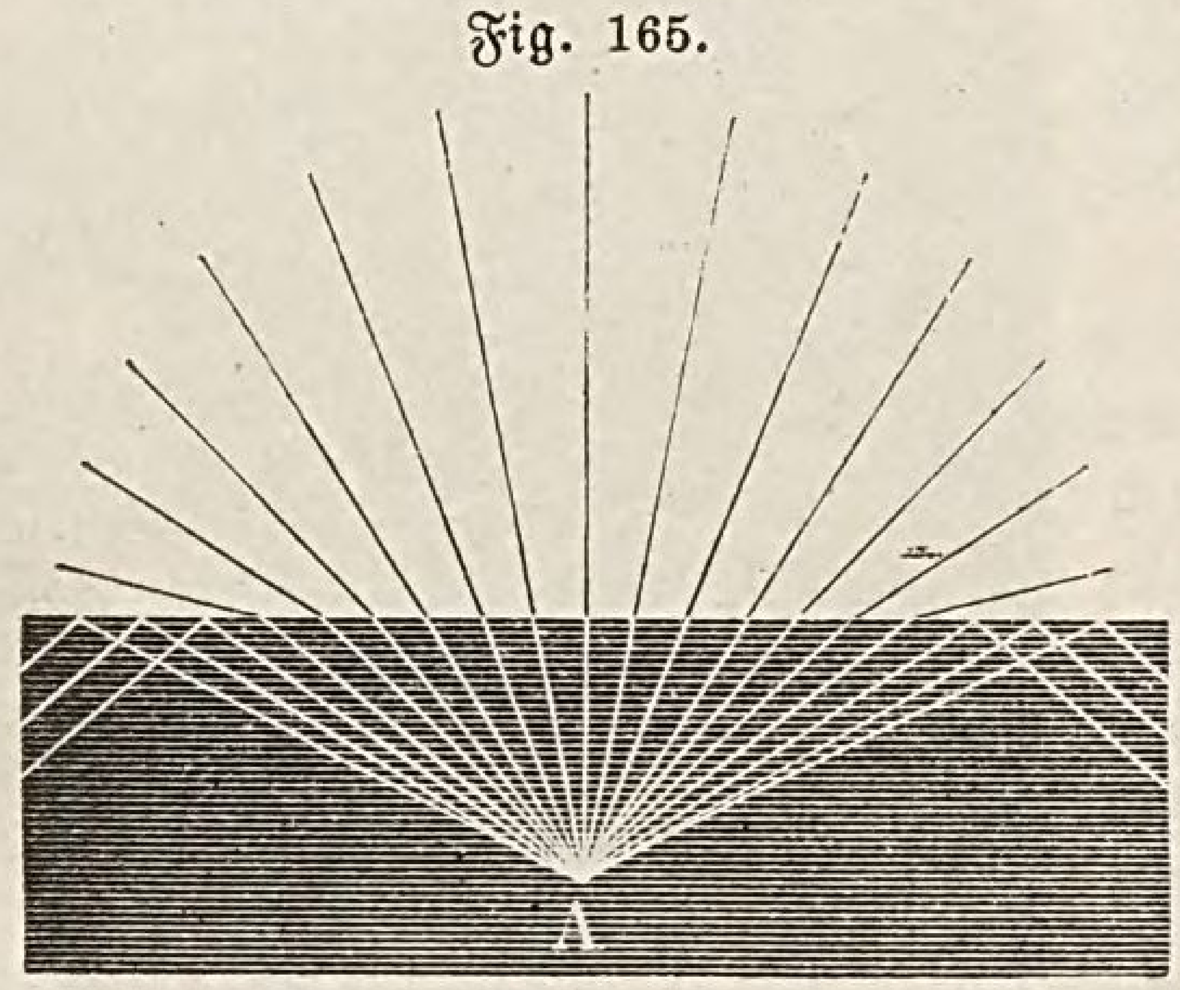

## § 50*. Vollständige Zurückwerfung des Lichtes. Luftspiegelung.

Hält man ein mit Wasser (oder einer anderen durchsichtigen Flüssigkeit) gefülltes Glas so hoch, daß man schräg von unten gegen den Flüssigkeitsspiegel sehen kann (Fig. 164), so erblickt man von einem in das Wasser eingetauchten Stabe ein Spiegelbild an der Wasseroberfläche. Diese Erscheinung erklärt sich daraus, daß die Lichtstrahlen, welche von dem unter Wasser befindlichen Teile des Stabes aus schräg gegen den Wasserspiegel fallen, von einem gewissen Einfallswinkel (Grenzwinkel) ab sämtlich wieder in das Wasser zurückgeworfen werden (siehe Fig. 165). Der Wasserspiegel elbst erscheint deshalb undurchsichtig und stark glänzend wie ein Quecksilberspiegel.

Fig. 164.



Fig. 165.

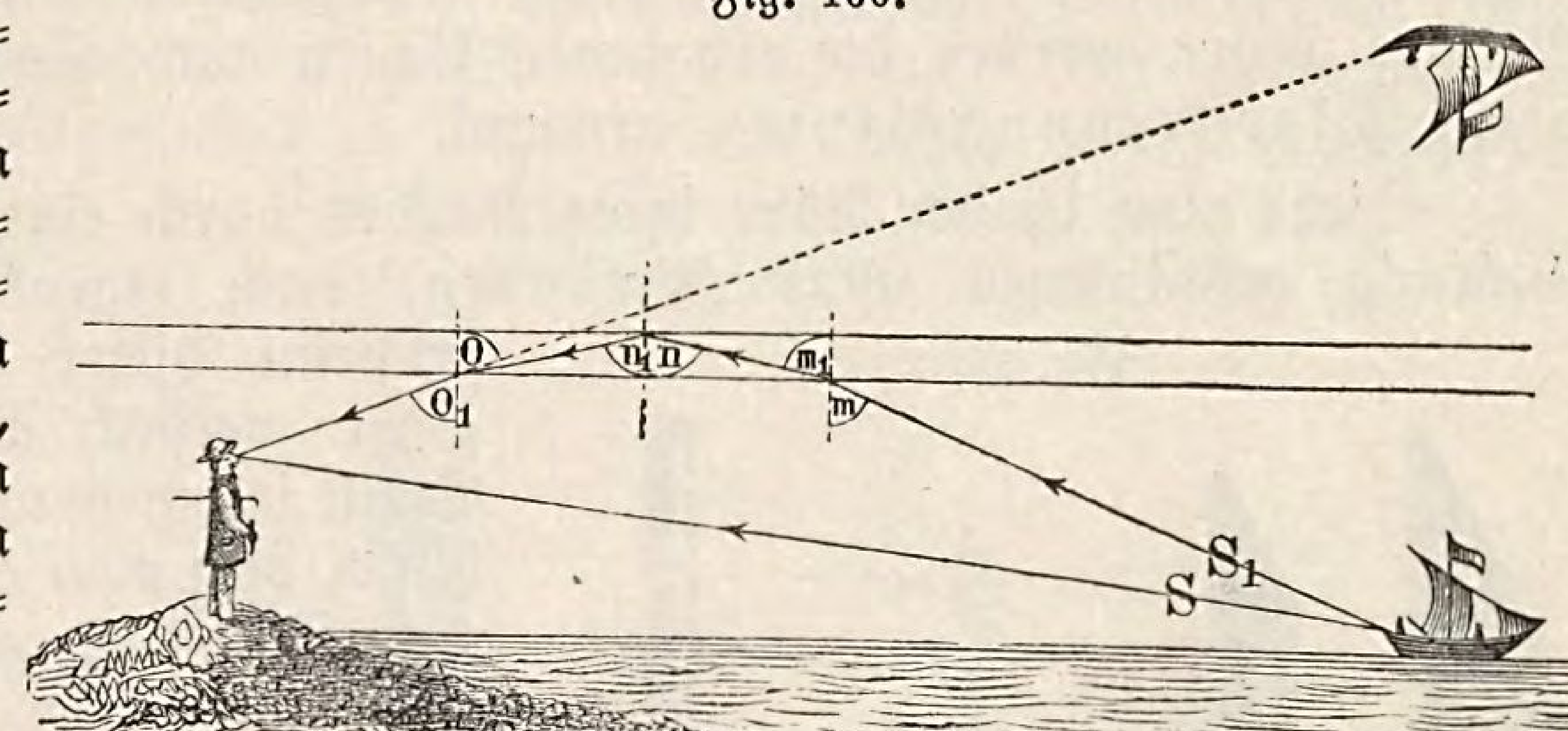


Lichtstrahlen, welche ein dünneres Mittel treffen, werden *vom Grenzwinkel ab sämtlich* wie von einem Spiegel in das dichtere Mittel zurückgeworfen: **Vollkommene Spiegelung** oder **totale Reflexion.**

Auf der *vollkommenen Zurückwerfung* beruht auch die Entstehung der **Luftspiegelungen,** *die auf den kälteren Meeren und in heißen Sandwüsten vorkommen.*

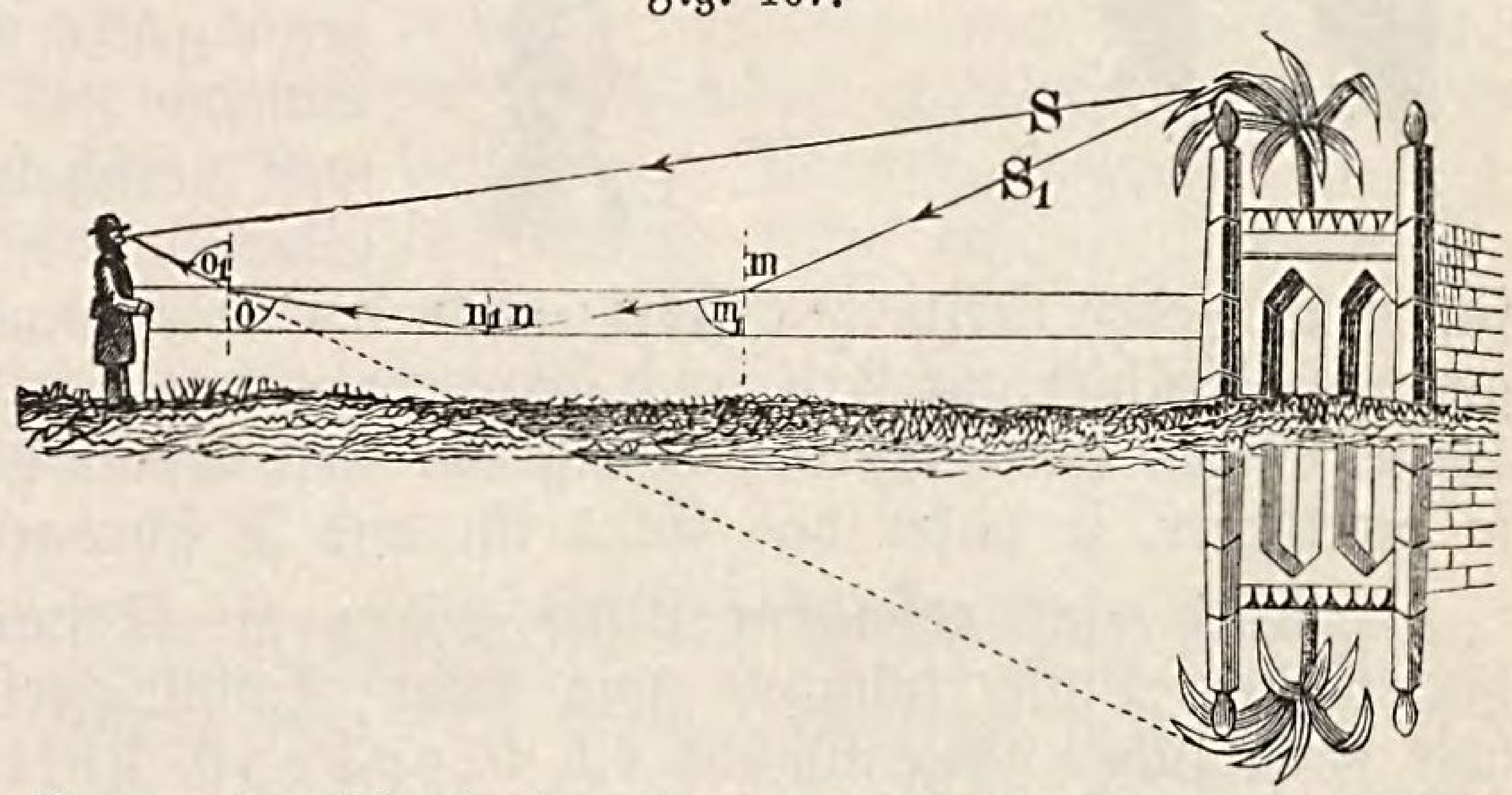
1. *Auf den Meeren der Polargegenden* erscheint bisweilen hoch in der Luft das umgekehrte Bild eines fernen Schiffes (Fig. 166). Dies erklärt sich daraus, daß die Strahlen beim Übergange in dünnere Luftschichten wiederholt vom Einfallslote abgelenkt und schließlich wie von einem Spiegel reflektiert werden. Die bis dahin *aufwärts* gerichteten Strahlen gehen dann wieder *abwärts,* so daß der Beobachter den Eindruck erhält, *als kämen sie von einem hoch gelegenen Punkte her.*

Fig. 166.




2. *In heißen Sandwüsten* sind oft Bilder sichtbar, die wie bei einem Wasserspiegel unter dem Gegenstände erscheinen (Fig. 167), wodurch ein Eindruck hervorgerufen wird, als sei der Gegenstand von Wasser umgeben. Diese Art der Luftspiegelung kommt dadurch zustande, daß infolge der starken Erhitzung des sandigen Bodens die Luft nicht nach oben, sondern nach unten hin immer dünner wird; die anfangs schräg *abwärts* gerichteten Lichtstrahlen erleiden infolgedessen nach wiederholter Brechung eine vollkommene Spiegelung und wenden sich wieder schräg *aufwärts.*

Fig. 167.



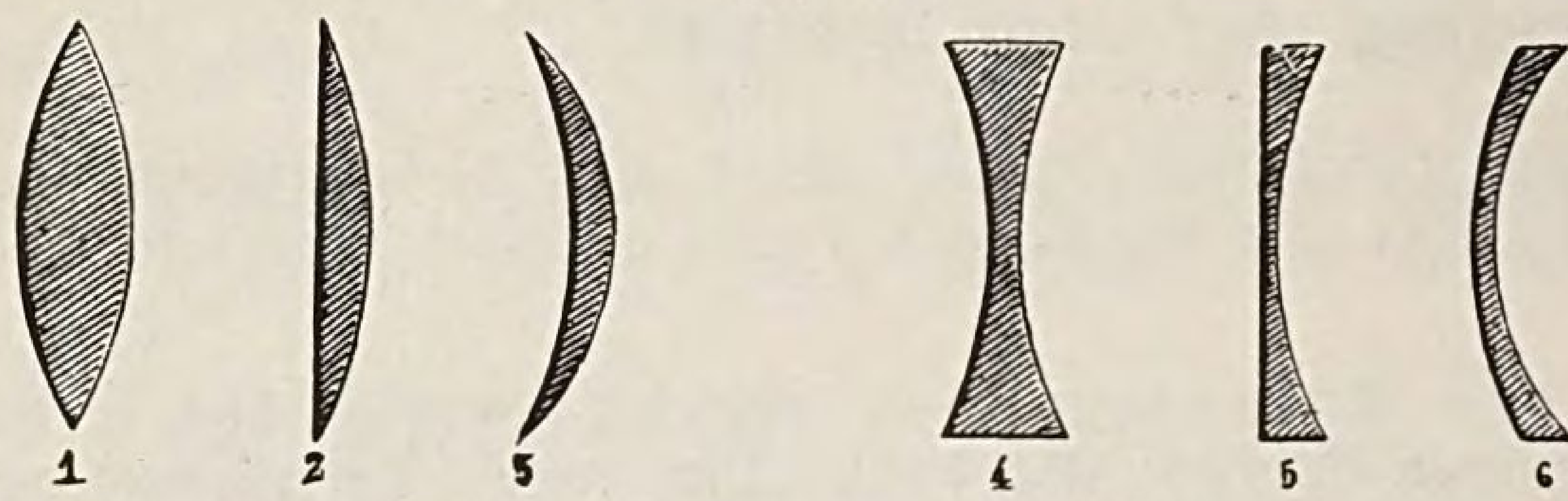

**Übungsstoff.** 1. In Aquarien sieht man die Fische, wenn man von unten schräg gegen die Oberfläche des W. blickt, zweimal: einmal in und einmal über dem W. Erkl.! — 2. Manche Pflanzenblätter zeigen einen hellen Silberglanz, wenn man sie in W. eintaucht; zieht man sie wieder aus dem W. heraus, so sind sie kaum benetzt. Wie läßt sich dies erklären? — 3. Die Risse in geborstenen Fensterscheiben erscheinen im direkten Sonnenlichte stark glänzend. Grund! — 4. Warum sind es bei durchsichtigen Edelsteinen namentlich die vom Auge abgewandten Flächen, die den starken Glanz erzeugen? — 5. Kleine Luftblasen glänzen im W. wie Perlen. Erkl.! — 6. Desgl. Tautropfen im direkten Sonnenlichte, wenn man sie von der Seite betrachtet, die der Sonne zugewandt ist. Grund! — 7. Vergl. die totale Reflexion mit der bekannten Ersch., welche eintritt, wenn man einen dünnen Stein kräftig und möglichst flach auf eine Wasserfläche wirft. — 8. Warum müssen die Lichtstrahlen, welche die beiden Luftspiegelungen (Fig. 166 und 167) hervorrufen, beim Übergange in die entgegengesetzte Richtung eine sehr flache Lage haben? — 9. Versuche hieraus einen Grund abzuleiten, warum die Erschn. verschwinden müssen, wenn man sich den Gegenständen mehr und mehr nähert.

## § 51*. Brechung des Lichtes durch Prismen und Linsen.

Die Lichtbrechung findet eine sehr nützliche Anwendung bei den Vergrößerungs-

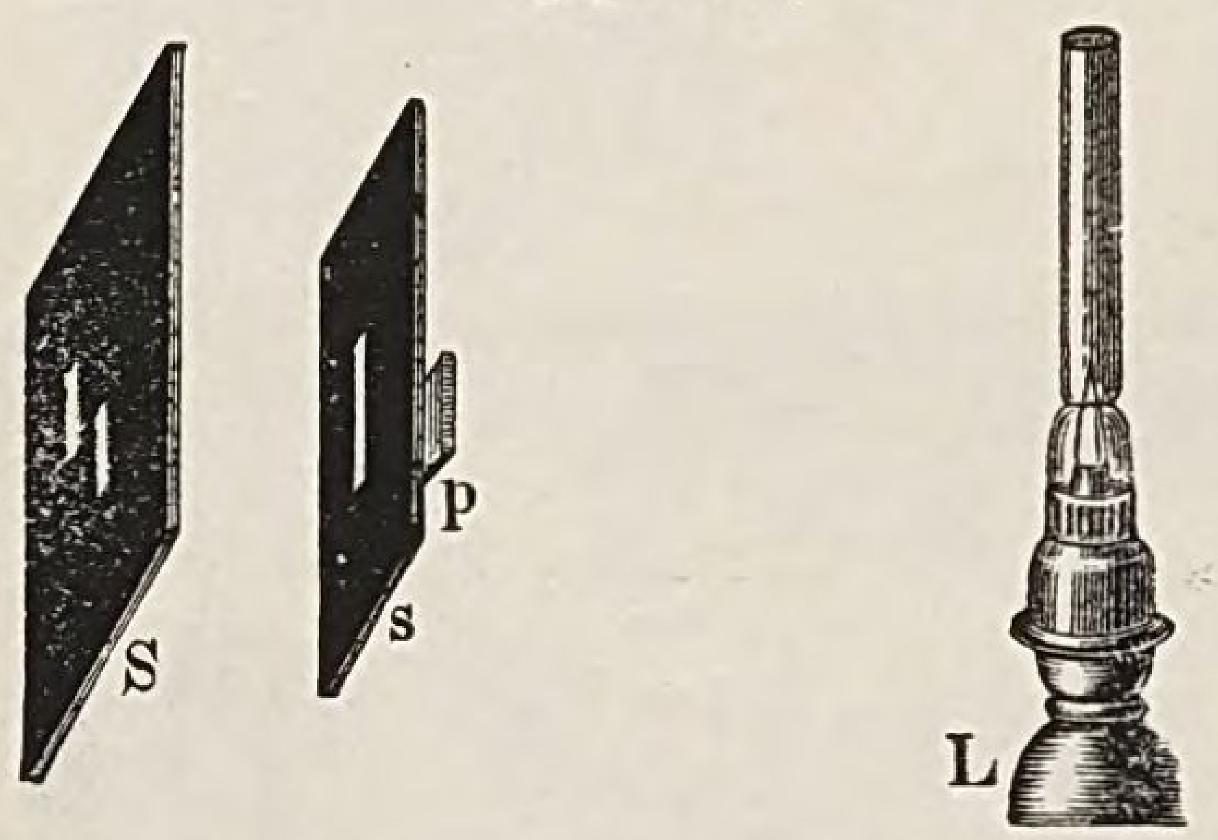
gläsern, Brillen, Fernrohren und ähnlichen Instrumenten. Die wesentlichen Teile dieser Instrumente sind sogen. **Linsen,** d. h. Gläser, welche entweder von zwei kugelförmigen oder von einer kugelförmigen und einer ebenen Fläche begrenzt sind. Man unterscheidet **erhabene** oder Konvexlinsen, und **hohle** oder Konkavlinsen. Erstere sind in der Mitte dicker, letztere in der Mitte dünner als am Rande (Fig. 168). Ihrer Wirkung wegen werden die erhabenen Linsen auch Sammellinsen, die hohlen dagegen Zerstreuungslinsen genannt.

Fig. 168.



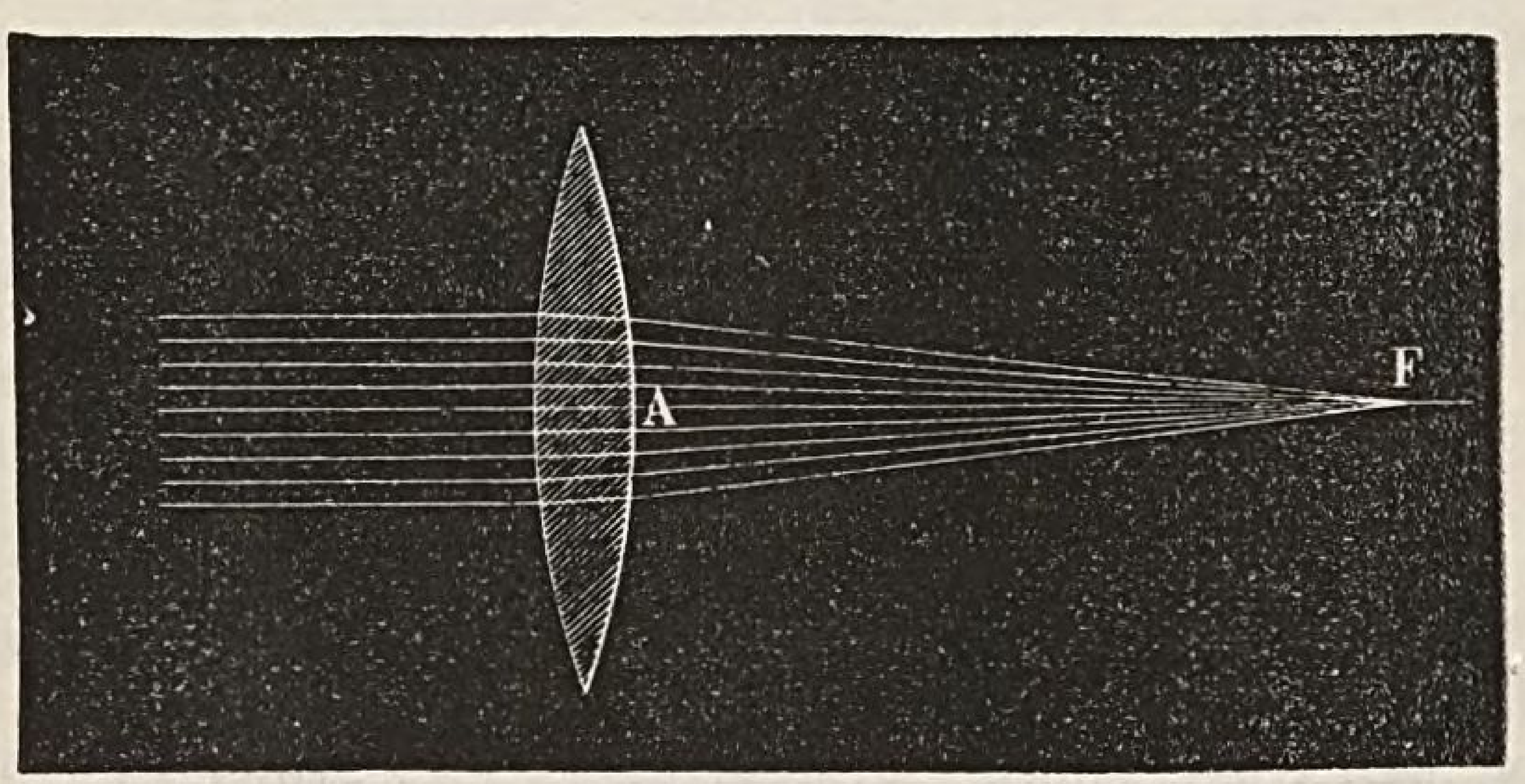

Sieht man in der Nähe ihres Randes durch eine Glaslinse oder durch ein keilförmig geschliffenes Glas (Prisma) nach irgend einem Gegenstande, so erscheint dieser von seiner Stelle gerückt. Oder: verdeckt man (nach Fig. 169) einen Spalt in einem undurchsichtigen Schirme (s), hinter dem man eine hell leuchtende Flamme aufgestellt hat, zum Teil durch den Rand einer Linse oder eines keilförmigen Glases, so erscheint ein durch den Spalt hindurchgegangener und von einem durchscheinenden Schirme (S) aufgefangener Lichtstreifen soweit verschoben, als der Spalt durch das Glas verdeckt wurde. Die Verschiebung findet nach der Seite hin statt, nach der das Glas an Stärke zunimmt. Eine geringe Verschiebung tritt auch schon ein, wenn man eine Glasscheibe mit parallelen Seitenflächen (Fensterglas) schräg vor den Spalt hält. Die Verschiebung ist um so merklicher, je dicker das Glas ist, und je schräger die Lichtstrahlen einfallen.

Fig. 169.




Wird eine **erhabene Linse** gegen die Sonne gehalten, so entsteht mitten hinter der Linse (ähnlich wie beim Hohlspiegel vor demselben) auf einem hier befindlichen Gegenstande ein blendend heller Punkt, der **Brennpunkt der Linse** (F, Fig. 170). Ist der Gegenstand brennbar, so entzündet er sich leicht an dieser Stelle. Die Lichtstrahlen vereinigen sich nach dem Durchgange durch die Linse in dem Brennpunkte. Der Abstand des Brennpunktes vom Mittelpunkte der Linse heißt ihre **Brennweite.**

Fig. 170.




Welche Richtungsänderung würden nach Fig. 170 die Strahlen eines hell leuchtenden Punktes durch die erhabene Linse erleiden, wenn sie vom Brennpunkte F ausgingen? — Eine gerade Linie, die vom Krümmungsmittelpunkte der einen Seitenfläche der Linse nach dem der anderen geht, auf dieser somit senkrecht steht, heißt Achse der Linse.

1) Strahlen, welche parallel zur Achse durch eine erhabene Linse gehen, werden im Brennpunkte der Linse vereinigt. 2) Strahlen, welche vom Brenn-

punkte der Linse ausgehen, werden durch die Linse parallel zur Achse gerichtet. 3) Gehen die Strahlen durch den Mittelpunkt der Linse, so ändert sich ihre Richtung nicht.

Der Vereinigungspunkt der Strahlen, die in der Nähe des Randes durch eine erhabene Linse gehen, liegt (ähnlich wie bei den Hohlspiegeln) der Linse etwas näher als der eigentliche Brennpunkt, besonders wenn sie stark gekrümmt ist.

## Bilder durch Glaslinsen.

Welche Lichtwirkung eine **erhabene Linse** hervorruft, wenn sich der Gegenstand (ähnlich wie beim Hohlspiegel, § 48) einmal innerhalb, ein andermal außerhalb ihrer Brennweite befindet, ist durch Fig. 171 und 172 veranschaulicht. Betrachtet man durch die Linse etwa die Schrift eines Buches, welche man zunächst der Linse sehr nahe bringt und dann (innerhalb der Brennweite) immer weiter davon ent-

Fig. 171.

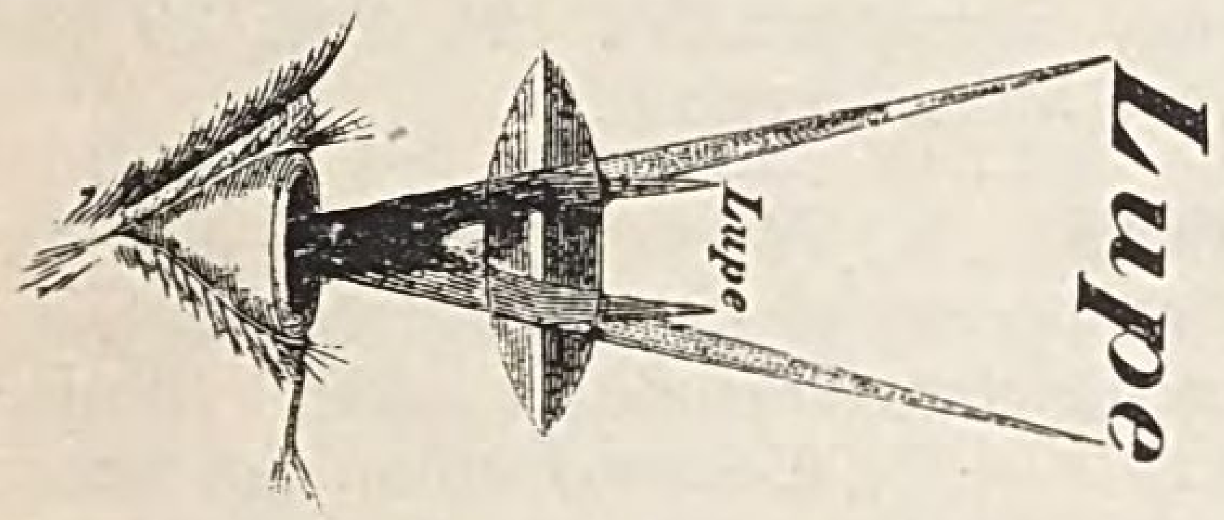
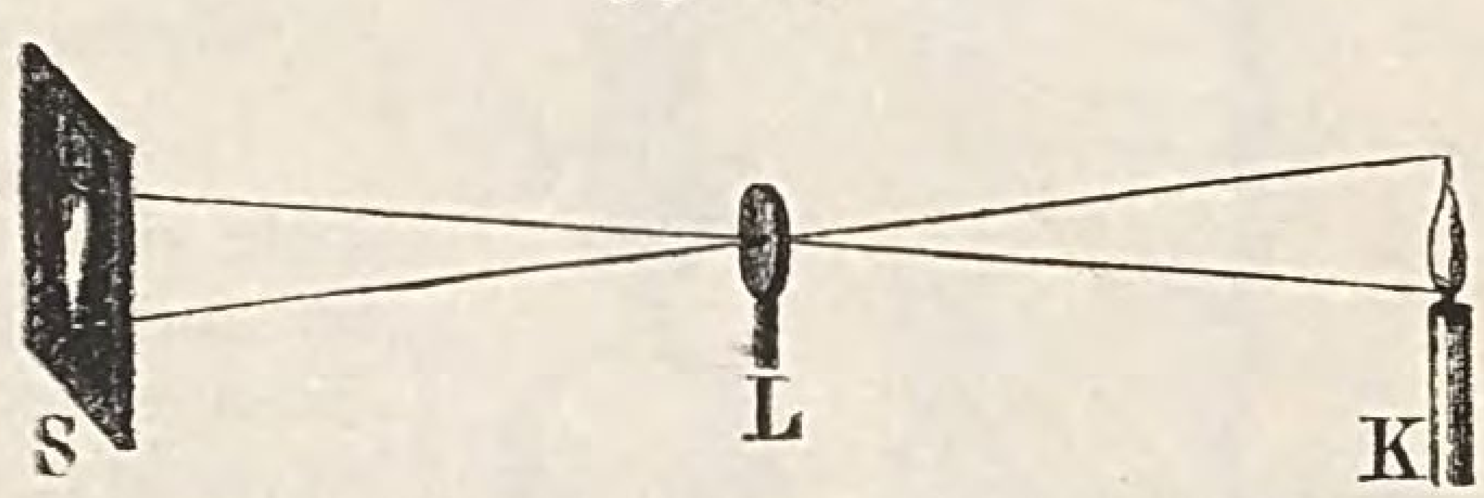



Fig. 172.



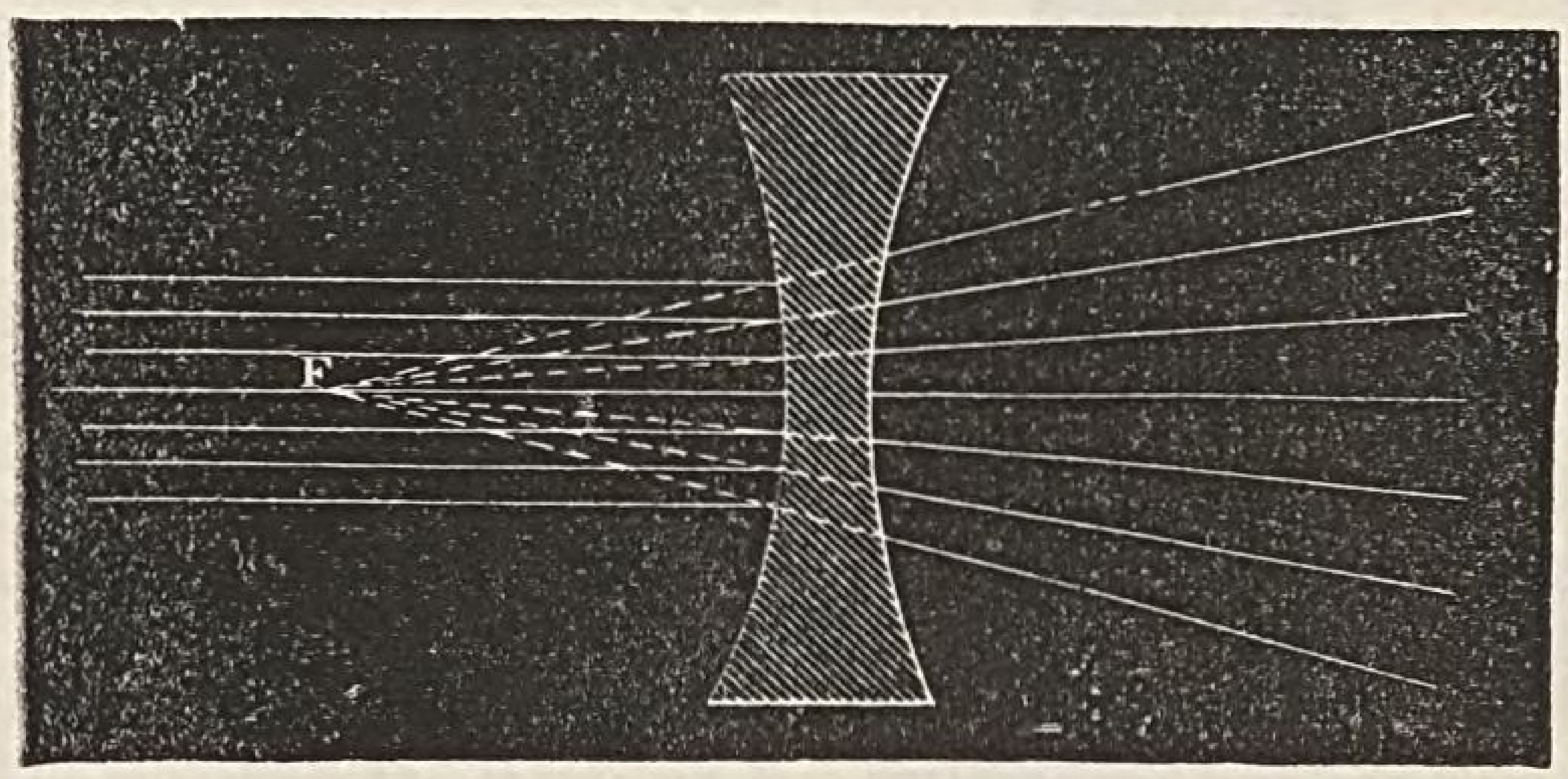

fernt, so erscheint sie vergrößert (Fig. 171), wird aber bei zunehmender Entfernung von der Linse undeutlich. — Von einem hell leuchtenden Gegenstande, der sich außerhalb der Brennweite befindet, etwa von einer Flamme, erscheint an der anderen Seite der Linse ein auffangbares, umgekehrtes Bild, das der Linse näher rückt und kleiner wird, wenn man die Flamme weiter von der Linse entfernt. Steht die Flamme in der doppelten Brennweite vor der Linse, so erscheint das Bild in gleichem Abstande hinter der Linse; Flamme und Bild sind dann gleichgroß (Fig. 172).

Befindet sich ein Gegenstand vor einer Sammellinse **innerhalb der Brennweite,** so erscheint er größer, wenn man ihn durch die Linse betrachtet; das entstehende aufrechte Bild des Gegenstandes ist nur ein scheinbares Bild.

Von einem Gegenstande, der sich vor einer Sammellinse **außerhalb der Brennweite** befindet, entsteht hinter der Linse ein umgekehrtes, wirkliches Bild, dessen Größe sich mit der Entfernung des Gegenstandes ändert.

Läßt man Sonnenstrahlen durch eine **Zerstreuungslinse** auf eine weiße Fläche fallen, so erscheint auf dieser ein matt erleuchteter Kreisring, welcher größer ist als die Linse und eine dunklere Fläche umschließt. Die Strahlen werden bei ihrem Durchgange durch die Linse zerstreut, so daß sich ihre Verlängerungen nach rückwärts in einem vor der Linse gelegenen Punkte treffen (Fig. 173). Zerstreuungslinsen haben demnach keinen eigentlichen Brennpunkt und können keine wirklichen (auffangbaren) Bilder

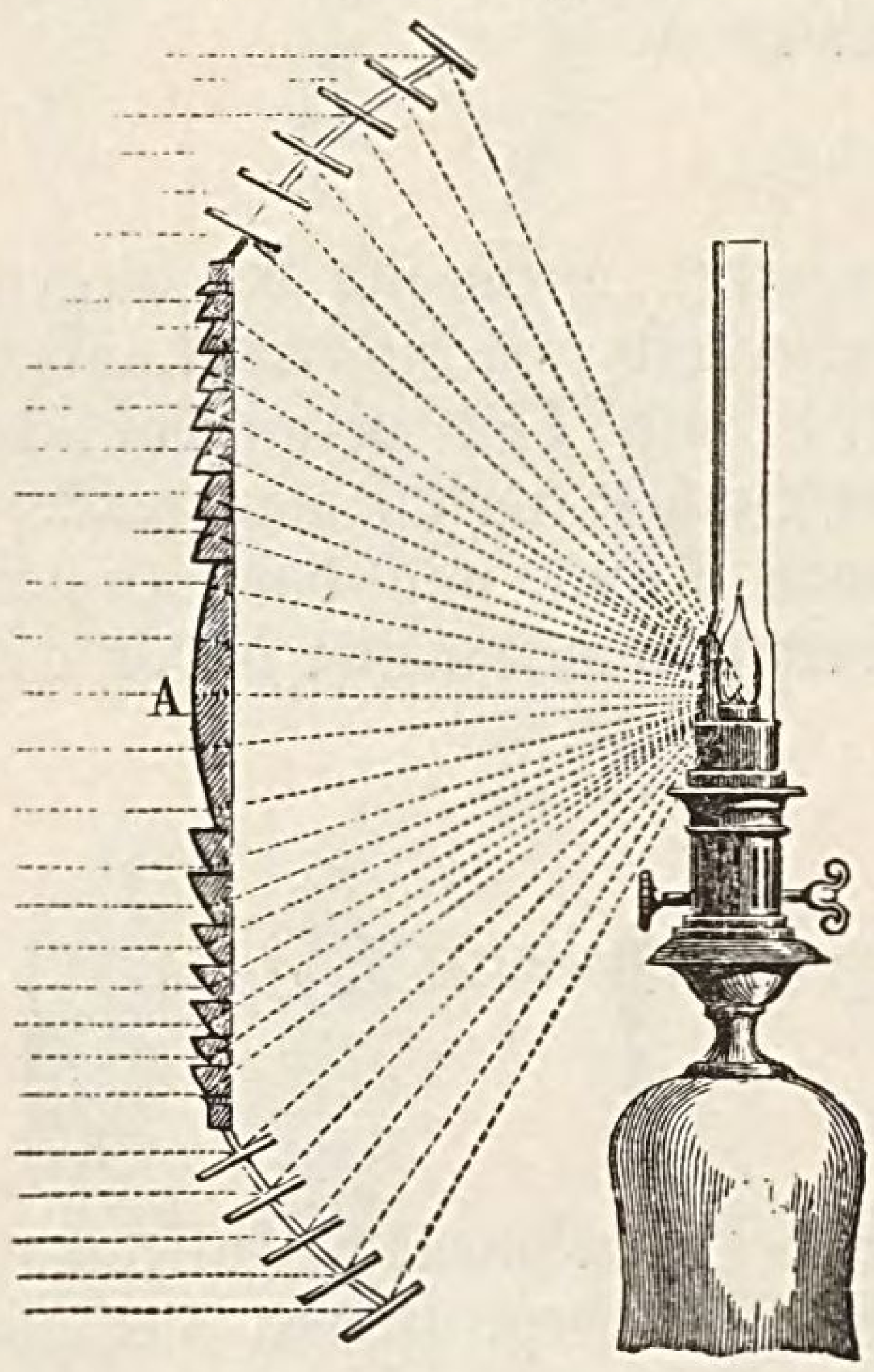
Fig. 173.



erzeugen. Alle Gegenstände erscheinen, wenn sie durch Zerstreuungslinsen betrachtet werden, aufrecht und um so stärker verkleinert, je weiter sie von der Linse entfernt sind.

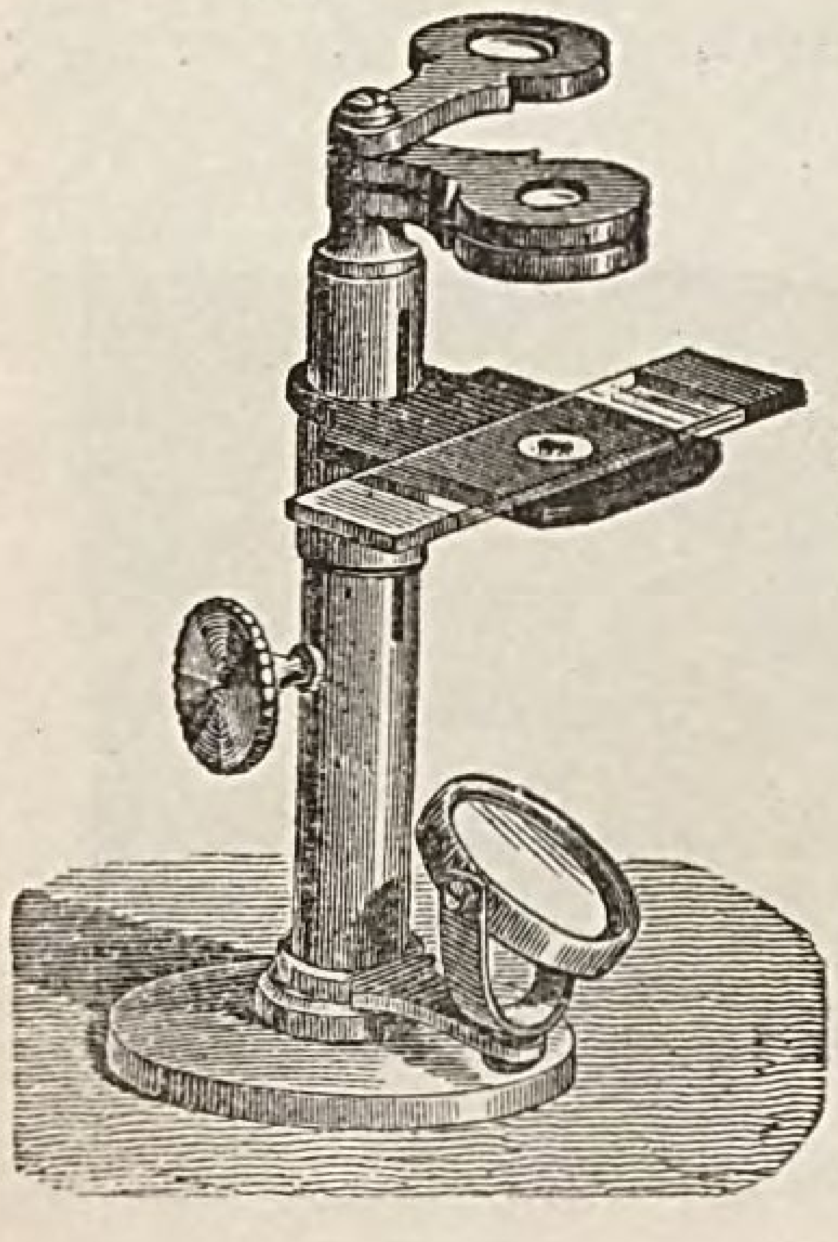
Die Eigenschaft der Prismen und Linsen, die Richtung der durch sie hindurchgehenden Lichtstrahlen in bestimmter Weise zu ändern, findet (außer in den oben angedeuteten Fällen) auch eine für die Schiffahrt wichtige Anwendung, indem man das auf Leuchttürmen angebrachte Licht mit einem weiten tonnenförmigen Glasmantel umgiebt, der aus großen erhabenen Linsen und gekrümmten Prismen so zusammengesetzt ist, daß die Strahlen parallel aufs Meer geworfen werden (Fig. 174). Dadurch wird das Licht auf weit größere Entfernungen hin sichtbar als bei allseitiger Ausbreitung der Strahlen (siehe Seite 72). Die deutsche Küste ist jetzt von der russischen bis zur holländischen Grenze mit zahlreichen Leuchttürmen versehen, die in solchen Abständen voneinander aufgestellt sind, daß sich ihre Sichtbarkeitskreise bei mittlerer Durchsichtigkeit der Luft 10 bis 12 Meilen von der Küste schneiden.

Fig. 174.




**Übungsstoff.** 1. Welchen Einfluß übt die Dicke einer Glasscheibe auf die Stärke der Verschiebung der durch sie betrachteten Gegenstände aus? (Große Schaufenster.) Erkl.! — 2. Welchen Einfluß hat ferner bei gleicher Dicke des Glases die Richtung, in der man gegen die Scheibe sieht? — 3. Legt man unter ein geschliffenes Trinkglas, das etwa halb mit W. gefüllt ist, ein Blatt bedrucktes Papier und betrachtet die Schrift von oben durch das W. hindurch, so erscheinen die Zeilen um so stärker verschoben, je schräger man das Glas zu sich herüberkippt. Erkl.! — 4. Ein senkrecht gehaltener Stab erscheint, durch ein mit ebenen Schliffflächen versehenes und mit W. gefülltes Trinkglas betrachtet, mehrfach seitlich verschoben. Erkl.! — 5. Welche Lage muß ein vor das Auge gehaltenes Prisma haben, wenn ein Gegenstand a. nach unten, b. nach oben, c. nach rechts, d. nach links verschoben erscheinen soll? — 6. Glasziegel haben bisweilen linsenförmige Stellen. Unter welcher Bedingung kann dies gefährlich werden? — 7. Hinter einer mit W. gefüllten Glasröhre entsteht im direkten Sonnenlichte ein heller Lichtstreifen. Erkl.! — 8. Lichtwirkung der mit W. gefüllten Glaskugeln, welche Schuhmacher abends bei ihrer Arbeit anwenden? Erkl.! — 9. In dem gläsernen Ölbehälter einer Petroleumlampe erscheint der Docht viel breiter, als er wirklich ist. Erkl.! — 10. In ein Stück Papier sei eine mehrere mm weite, kreisrunde Öffnung geschnitten. Man will mit Hilfe eines Wassertropfens ein Instrument daraus herstellen, durch welches kleine Gegenstände vergrößert erscheinen. Wie ist dies zu erreichen?

Fig. 175.



## § 52*. Lupe und Mikroskop. Zauberlaterne.

Eine **Lupe** besteht entweder aus einer einzigen Sammellinse von kurzer Brennweite oder aus mehreren miteinander verbundenen Sammellinsen. Man benutzt sie zur Betrachtung kleiner naher Gegenstände, die mit dem bloßen Auge nur undeutlich gesehen werden können. Zu diesem Zwecke nähert man Gegenstand und Lupe einander so weit, daß sich ersterer innerhalb der Brennweite der Lupe befindet. Die Gegenstände erscheinen dann um so stärker vergrößert, je näher sie dem Brennpunkte sind (vergl. Fig. 171). — Lupen, welche mit einem Stativ und auch wohl noch mit einem Beleuchtungsspiegel versehen sind, werden **einfache Mikroskope** genannt (Fig. 175).

Je stärker die Linse einer Lupe gekrümmt ist, desto mehr vergrößert sie auch. Die stärkste Lupenvergrößerung ist etwa eine 5fache. Um stärkere, brauchbare Vergrößerungen zu erhalten, muß man Lupen anwenden, die aus mehreren Linsen zusammengesetzt sind.

Die stärksten Vergrößerungen werden durch **zusammengesetzte Mikroskope** erzeugt. Diese bestehen in ihrer einfachsten Einrichtung aus zwei Sammellinsen, die an den beiden Enden einer innen geschwärzten Messingröhre angebracht sind. Die kleinere dieser beiden Linsen (O, Fig. 176) hat den Zweck, von einem kleinen Gegenstande (AB) ein möglichst großes, wirkliches Bild (ab) zu erzeugen und wird daher dem Gegenstande bis dicht an den Brennpunkt genähert, so daß also der Abstand nur wenig mehr als die Brennweite der Linse beträgt; die größere Linse (o) dient als Lupe zur Betrachtung des wirklichen Bildes. Jene wird Objektiv-, diese Okularlinse genannt. Die Brennweite der Objektivlinse ist bedeutend kleiner als die der Okularlinse.

Fig. 176.

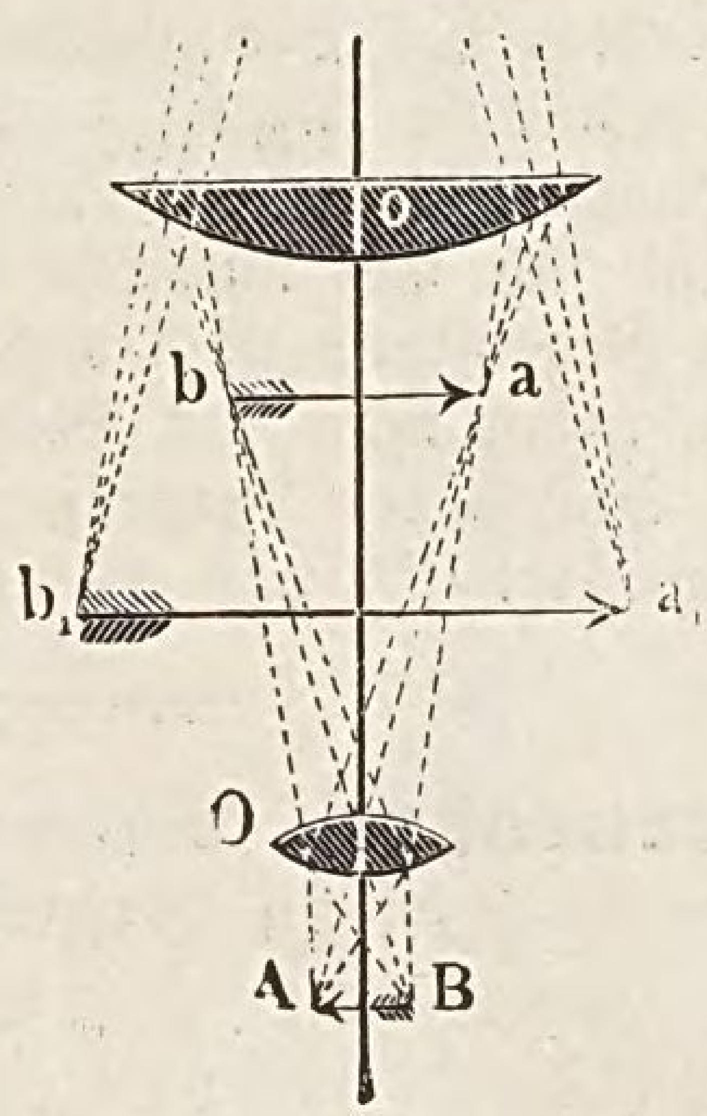
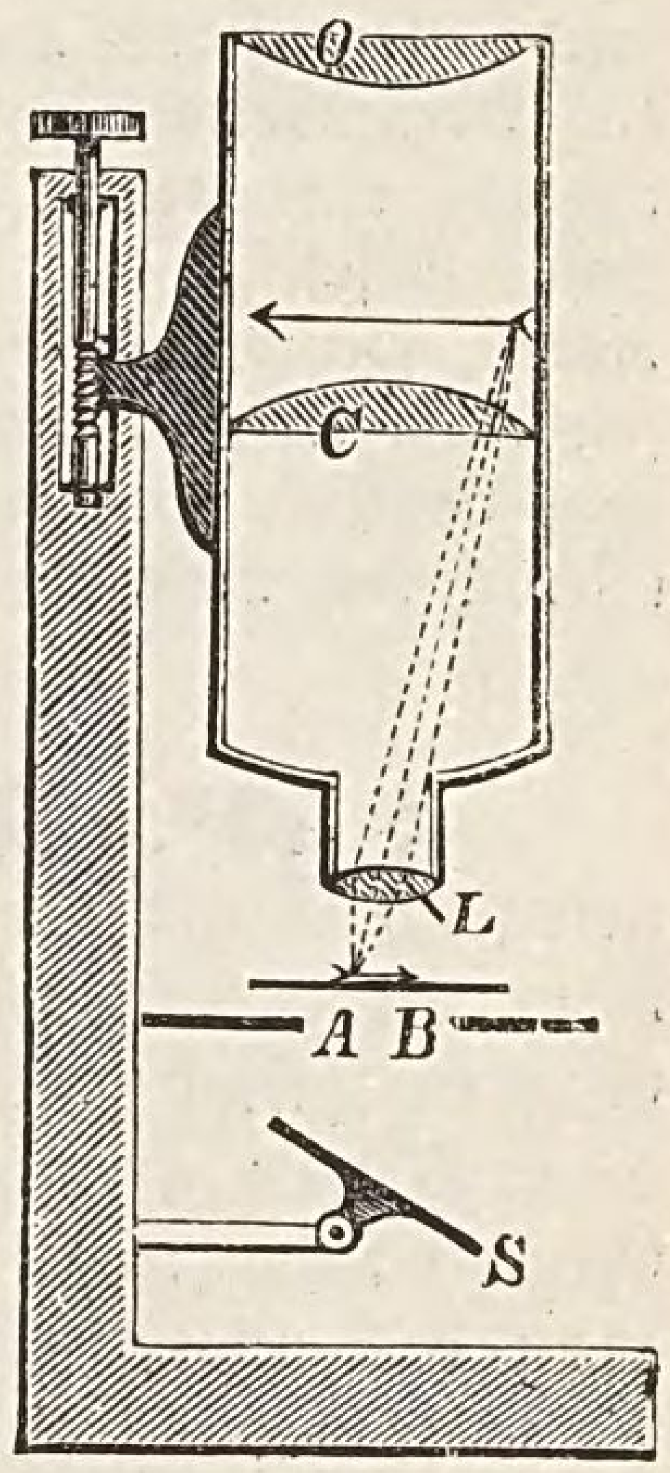


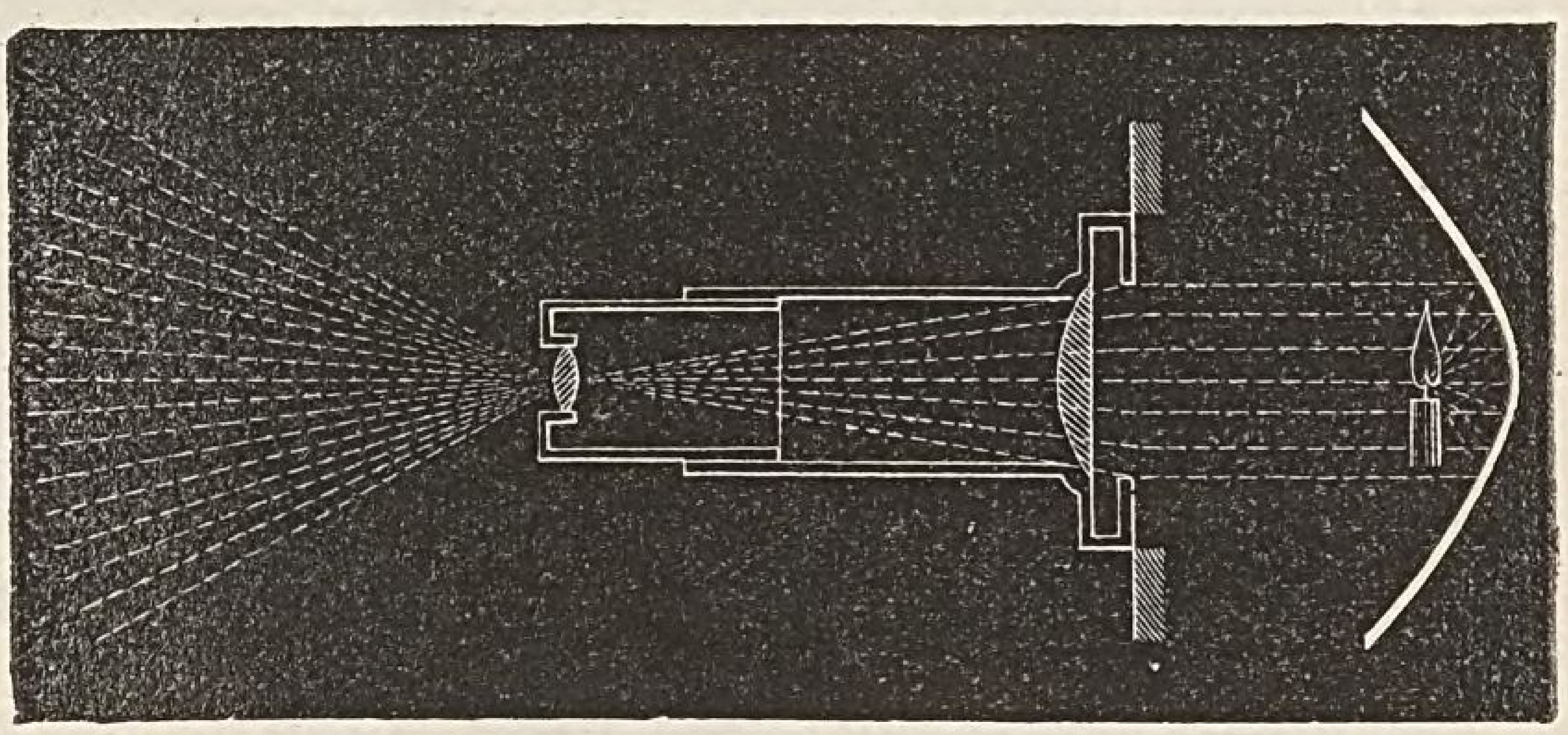

Fig. 177.




Die Güte eines Mikroskopes hängt weniger von der Stärke der Vergrößerung, als von der Klarheit und Schärfe des Bildes ab. Die Vergrößerung wird hauptsächlich durch das Objektiv bewirkt. Die gewöhnlichen, zur Untersuchung des Fleisches auf Trichinen dienenden Mikroskope vergrößern nur 50- bis 150mal, während die stärksten brauchbaren Mikroskope eine 1500- bis 2000fache Linienvergrößerung bewirken.

Die sogen. **Zauberlaterne** (Laterna magica, Fig. 178) hat den Zweck, stark vergrößerte Bilder so auf einen Schirm zu werfen, daß sie von mehreren Zuschauern zugleich gesehen werden können. Die auf Glas gemalten Bilder werden in umgekehrter Lage hinter den röhrenförmigen Ansatz eines Blechkastens geschoben, der wie eine Laterne eingerichtet ist. Die Röhre enthält zwei erhabene Linsen, durch die das Licht einer sehr hellen Petroleum- oder Kerzenflamme hindurchgeht, deren Strahlen das Bild hervorbringen. Die Flamme steht im Brennpunkte eines Hohlspiegels. Eine ähnliche Einrichtung hat das **Sonnenmikroskop**.

Fig. 178.



---

**Übungsstoff.** 1. Warum muß bei einer Lupe der Gegenstand a. in die Brennweite, b. dem Brennpunkte möglichst nahe gehalten werden? — 2. Das durch die Lupe entstehende Bild ist zwar um so größer, je weiter man den betrachteten Gegenstand innerhalb der Brennweite von der Lupe entfernt, es erscheint dann aber auch in größerem Abstande. Inwiefern ist daher ein weitsichtiges Auge beim Gebrauche einer Lupe gegen ein kurzsichtiges im Vorteile? — 3. Versuche durch den Gebrauch einer Lupe zu ermitteln, an welchen Stellen das Bild der Schrift eines Buches bei zunehmender Vergrößerung zuerst unklar wird. — 4. Leite hieraus ab, warum man den Rand stark vergrößernder Linsen mit einem dunklen Ringe (Blende) bedeckt. — 5. Man will die Vergrößerung einer Lupe dadurch bestimmen, daß man einen Millimeter-Maßstab durch die Lupe betrachtet.

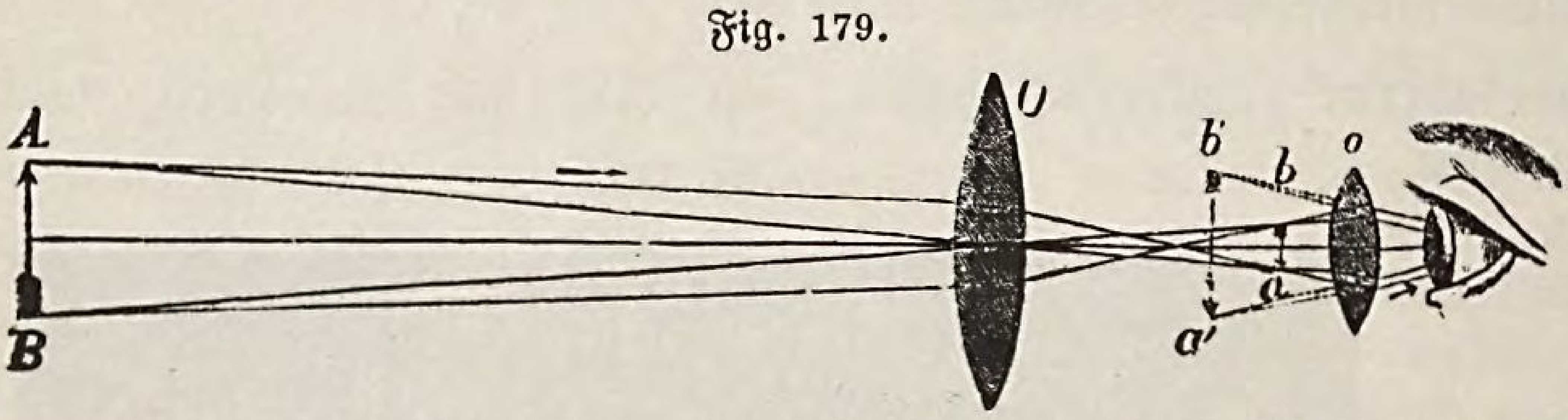
Wie ist weiter zu verfahren? — **6.** Angenommen, durch eine Lupe erscheine eine kurze Linie 3mal so lang, als sie wirklich ist; wievielmal so groß würde dann ein kleines Quadrat erscheinen? — **7.** Wie stark ist die Linienvergrößerung einer Lupe, deren Flächenvergrößerung das 16fache beträgt? — **8.** Auf eine Seite einer Lupe seien in einem Abstande von 8 mm mit Tinte 2 Punkte gemacht. Wie stark ist die Vergrößerung, wenn die Punkte bei der Betrachtung eines Maßstabes nur 2 mm weit voneinander entfernt zu sein scheinen? — **9.** Warum muß bei einem zusammengesetzten Mikroskope der zu betrachtende Gegenstand außerhalb der Brennweite der Objektivlinse, sein Bild dagegen innerhalb der Brennweite der Okularlinse liegen? — **10.** Wenn man (etwa mit Hilfe eines Korkringes) eine dünne Haut oder durchscheinendes Papier in der Okularröhre eines Mikroskopes befestigt, so läßt sich das wirkliche Bild auffangen. Wie wird sich das Bild bewegen, wenn man den Gegenstand nach rechts oder links verschiebt? — **11.** Warum ändern sich diese Erschn. nicht, wenn man das Bild durch die Okularlinse betrachtet? — **12.** Welchen Einfluß muß die Stärke der Vergrößerung auf die Lichtstärke des Bildes ausüben? (Zweck des Spiegels in Fig. 175 und 177!)

---

**§ 53*. Fernrohre.** Während die Mikroskope den Zweck haben, nahe gelegene Gegenstände so stark zu vergrößern, daß man ihre einzelnen Teile deutlich erkennen kann, dienen die Fernrohre dazu, *von weit entfernten Gegenständen Bilder hervorzurufen, so daß die Gegenstände dem Auge genähert und dadurch deutlicher erscheinen.* Da man die Gegenstände nicht wie beim Mikroskop nach Belieben beleuchten kann, so sucht man die erforderliche Lichtstärke der Bilder dadurch zu erreichen, daß man *größere* Objektive anwendet, denn je größer der Durchmesser der Objektive ist, desto mehr Strahlen können von denselben Punkten des Gegenstandes ins Fernrohr gelangen.

**1. Das astronomische oder Kepplersche Fernrohr** (Fig. 179) dient zur Betrachtung der *Gestirne* und erzeugt ein *umgekehrtes Bild.* Es besteht, wie das zusammengesetzte Mikroskop, im wesentlichen aus *zwei Sammellinsen,* nämlich aus einer *Objektivlinse* (O) von großer und einer *Okularlinse* (o) von kleiner Brennweite.

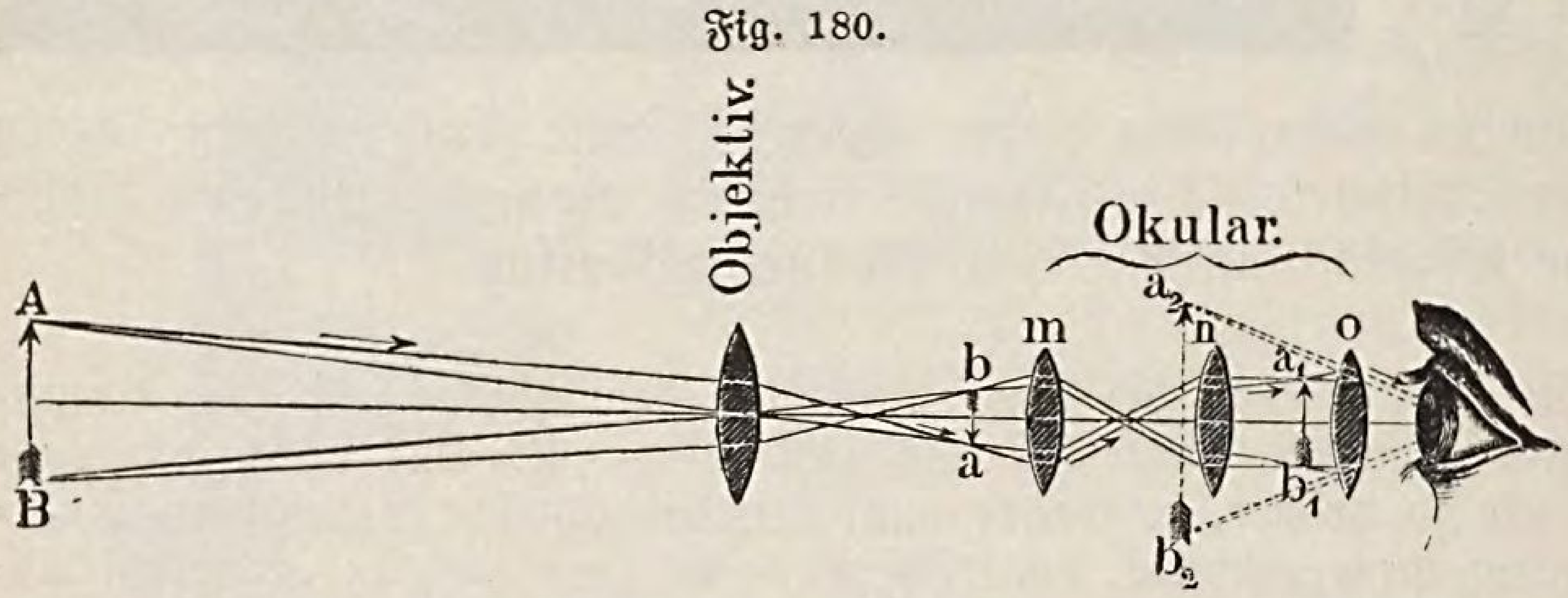
Fig. 179.




Der Durchmesser der Objektivlinse eines astronomischen Fernrohres kann über 50 cm betragen, die Vergrößerung eine mehrtausendfache sein.

**2. Das Erdfernrohr** (Fig. 180). Da durch dasselbe sehr weit entfernte *Gegenstände auf der Erde* betrachtet werden, so ist es so eingerichtet, daß die Bilder *aufrecht erscheinen.* Dies wird dadurch erreicht, daß man zur Betrachtung des umgekehrten wirklichen Bildes ab ein *Okular* anwendet, welches ähnlich wie ein *zusammengesetztes, mit schwach gekrümmter Okularlinse versehenes Mikroskop* eingerichtet ist. Das Bild ab wird dadurch noch einmal umgekehrt, ist also aufrecht.

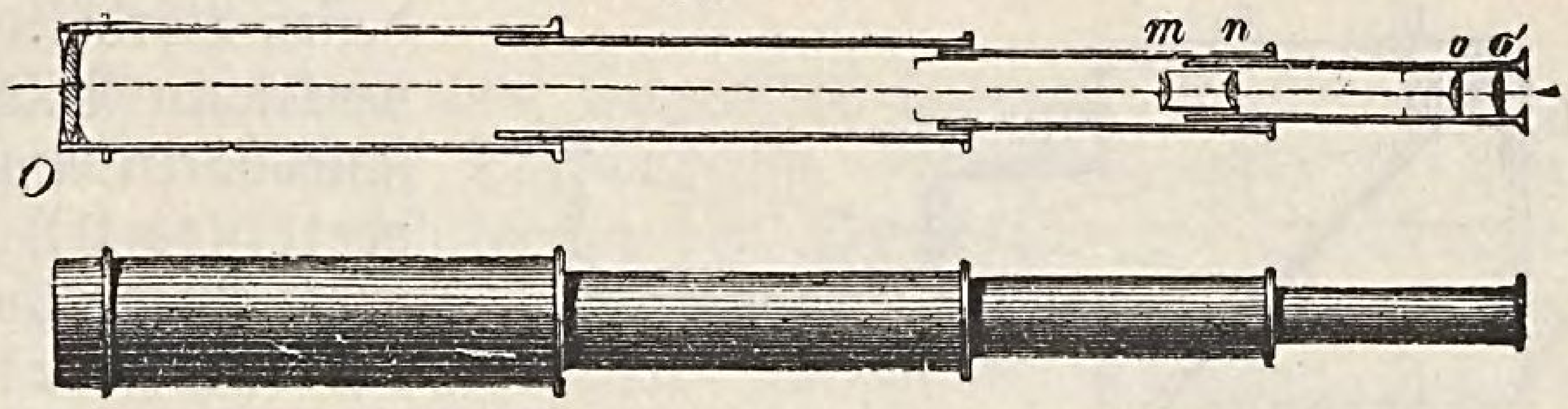
Fig. 180.




Das Erdfernrohr kann für den praktischen Gebrauch durch verschiebbare Röhren verlängert und verkürzt werden (Fig. 181, folg. Seite). Die Linsen des *Okulars* haben

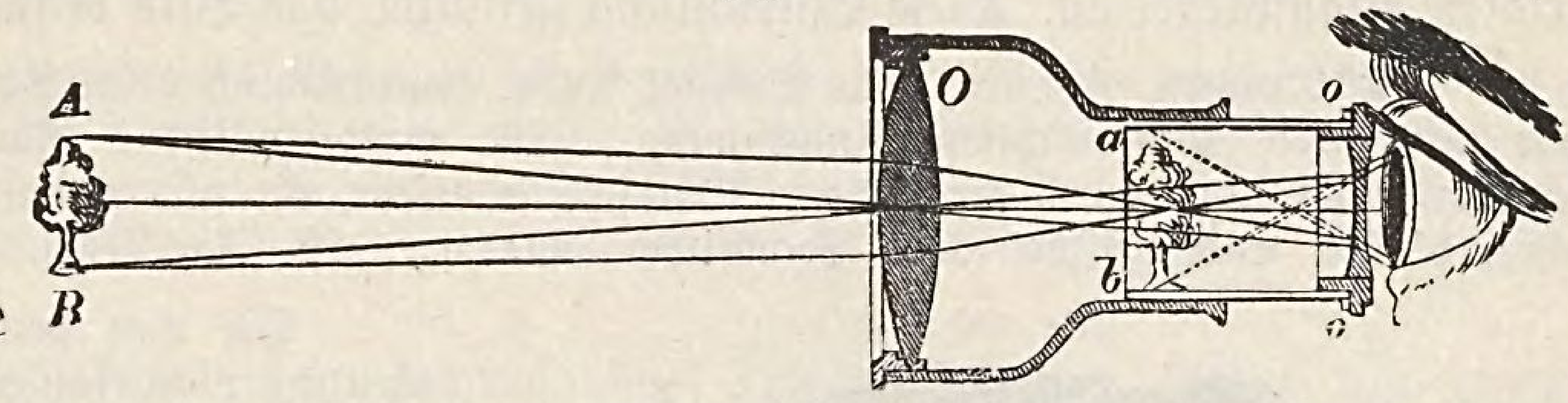
eine unveränderliche Stellung gegeneinander. (Das dargestellte Okular enthält 4 Linsen.) — Die Vergrößerung des Erdfernrohres ist gewöhnlich eine 20- bis 30fache, nur selten wird eine mehrhundertfache Vergrößerung angewandt.

Fig. 181.




3. **Das holländische oder Galileische Fernrohr** (Fig. 181) wird zur Betrachtung von Gegenständen benutzt, die nicht sehr weit entfernt sind. Sie erscheinen wie beim Erdfernrohre in ihrer wirklichen Lage. Dies wird in sehr einfacher Weise dadurch erreicht, daß man die Lichtstrahlen, welche durch die Objektivlinse (O) in das Rohr einfallen, schon vor der Stelle, wo sie sich zu einem objektiven Bilde vereinigen würden, durch eine Zerstreuungslinse (o) gehen läßt, die zugleich als Okularlinse dient.

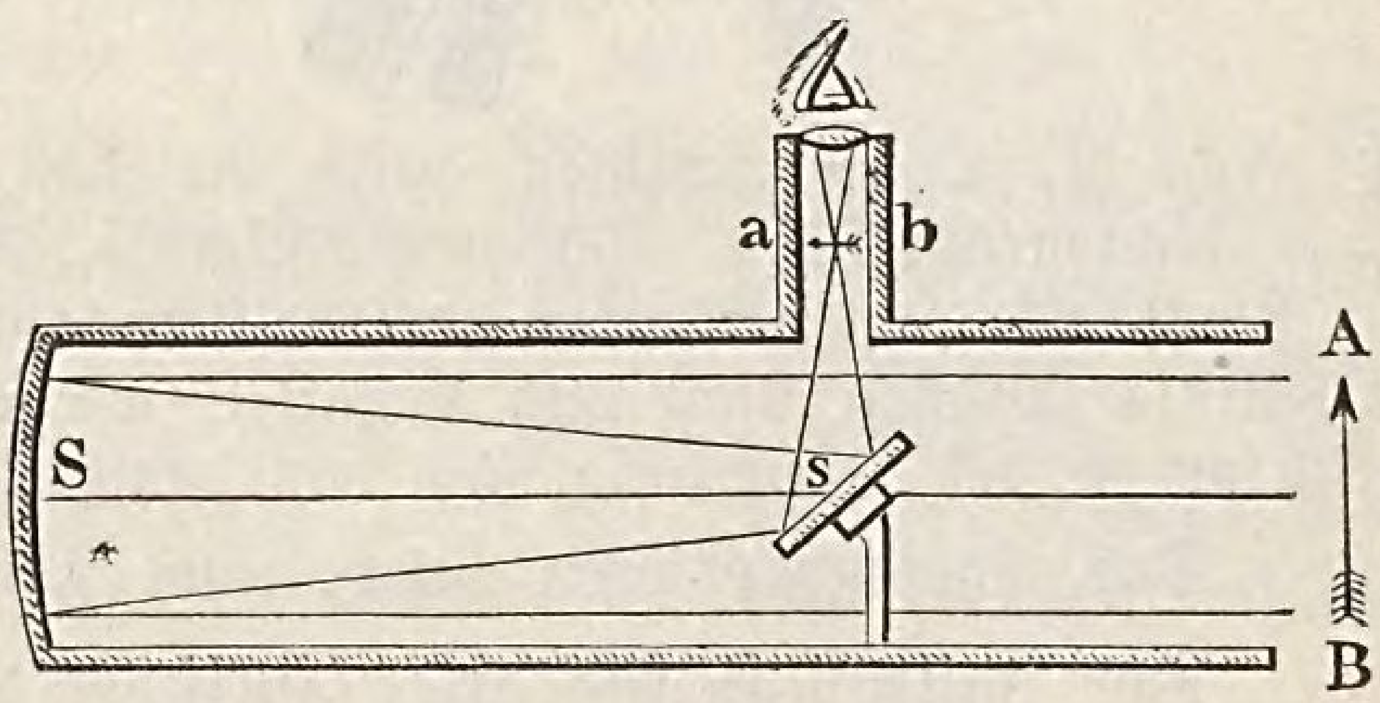
Fig. 182.




Die kleinen Fernrohre von dieser Einrichtung werden Operngläser, die größeren Feldstecher genannt. Erstere gewähren eine 2- bis 3fache, letztere höchstens eine 20- bis 30fache Vergrößerung.

**Spiegelfernrohre.** Bei Fernrohren, die zur Betrachtung der Gestirne bestimmt sind, können statt der Linsen auch Hohlspiegel als Objektive angewandt werden. Ein Fernrohr dieser Art ist das **Newtonsche** (Fig. 183). Es besteht aus einem weiten Rohre, das an dem vorderen, dem Gestirne zugewandten Ende offen ist und am anderen Ende einen großen Hohlspiegel (S) enthält, der die einfallenden Strahlen wieder zurückwirft. Bevor sich diese zu einem Bilde vereinigen können, fallen sie auf einen kleinen, im Innern des Rohres angebrachten ebenen Spiegel (s), der gegen die Achse des Rohres um 45° geneigt ist und daher die Strahlen in das seitlich befestigte Okular wirft.

Fig. 183.



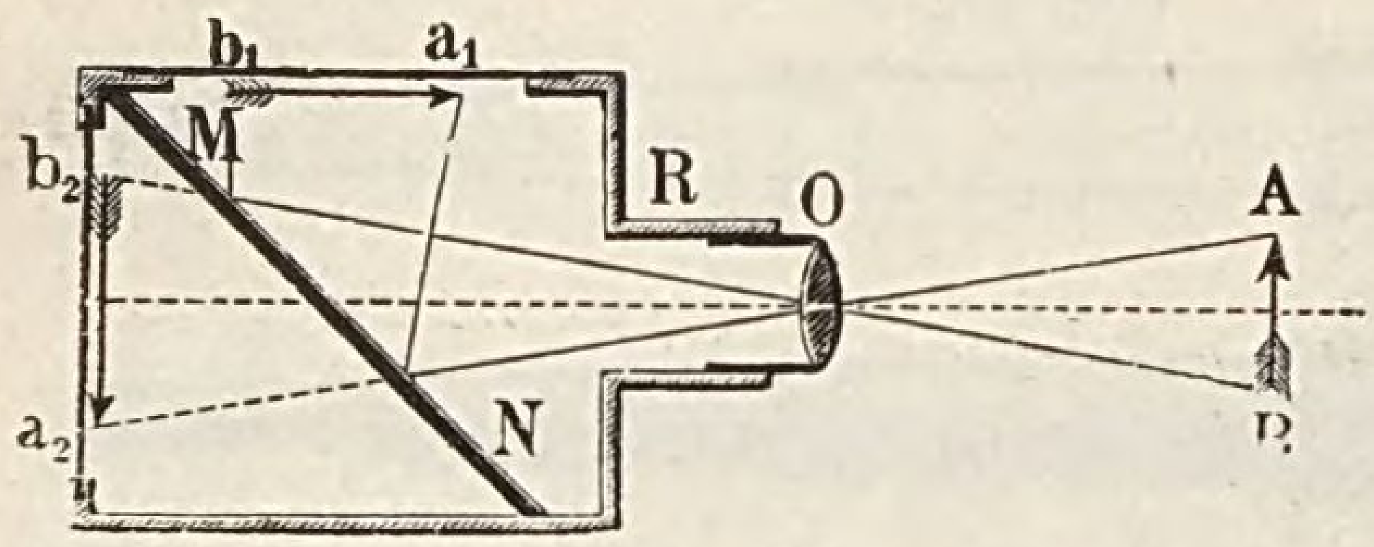

---

**Übungsstoff.** 1. Vergl. ein astronomisches Fernrohr mit einem Mikroskope. — 2. Desgl. das holländische Fernrohr mit dem astronomischen Fernrohre. — 3. Wodurch unterscheidet sich das Erdfernrohr vom Kepplerschen Fernrohre? — 4. Wodurch letzteres vom Newtonschen Fernrohre? — 5. Inwiefern hat das Objektiv bei Mikroskopen und Fernrohren denselben Zweck? — 6. Lichtwirkung der Okulare? — 7. Woraus kann man schließen, daß bei einem Fernrohre das wirkliche Bild dem Brennpunkte der Objektivlinse sehr nahe liegen muß? — 8. Warum ist die Objektivlinse eines Fernrohres bedeutend größer als die eines Mikroskopes? — 9. Warum muß die Okularlinse so weit genähert werden, daß das wirkliche Bild innerhalb der Brennweite dieser Linse fällt? — 10. Bei welchem Fernrohre wird die Erzeugung eines aufrechten Bildes auf die einfachste Weise erreicht? — 11. Wie ist die Entstehung dieses Bildes zu erklären? — 12. Angenommen man blickte mit dem einen Auge durch ein Fernrohr, mit dem anderen direkt nach einem Ziegeldache und sähe zu, wieviel Ziegelsteine auf einen Stein des Bildes fallen: wie ließe sich dadurch die Stärke der Vergrößerung dieses Instrumentes bestimmen?

---

## § 54*. Camera obscura. Das Auge.

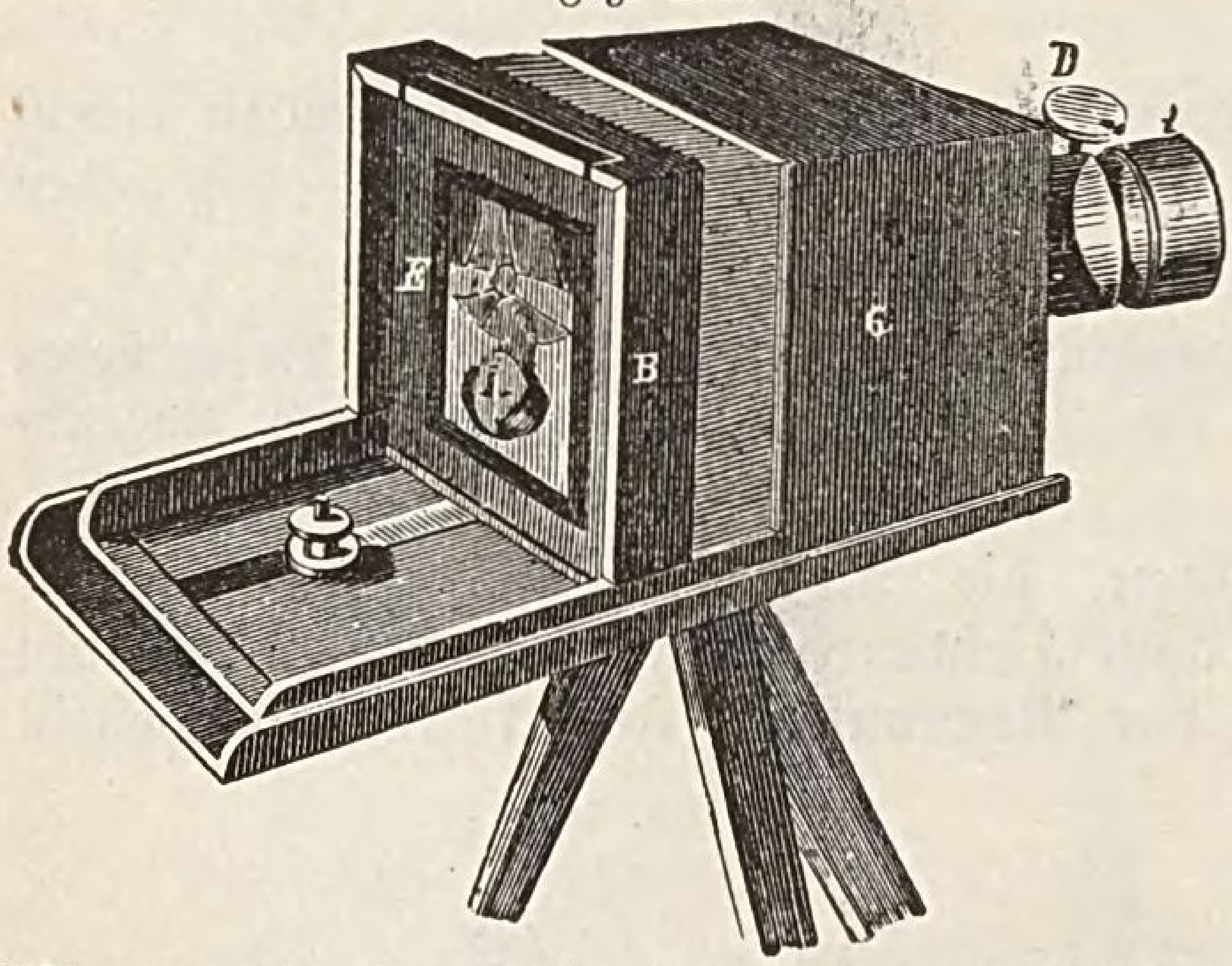
Fig. 184.




Als **Camera obscura** (d. h. Dunkelkammer) bezeichnet man einen dunklen Kasten (Fig. 184), dessen Vorderwand zur Erzeugung eines wirklichen Bildes in einem kurzen verschiebbaren Ansatzrohre (R) eine Sammellinse (O), und dessen hintere oder obere Wand zum Auffangen dieses Bildes eine matt geschliffene Glasplatte enthält. Soll das Bild auf der oberen Wand des Kastens entstehen, so bringt man in diesen einen unter 45° geneigten Planspiegel an. Diese Einrichtung gestattet, das Bild bequem nachzuzeichnen.

Die Camera obscura ohne Spiegel findet hauptsächlich beim **Photographieren** eine sehr verbreitete und nützliche Anwendung. Die mattgeschliffene Glasscheibe wird nach genauer Einstellung durch eine andere Glasscheibe ersetzt, die mit einem gegen Licht äußerst empfindlichen Stoffe (Jod- oder Bromsilber) überzogen ist (Fig. 185).

Fig. 185.




Die von dem Gegenstande ausgehenden Lichtstrahlen zersetzen die Silberlösung, und indem sich das Silber als eine schwärzliche Masse ausscheidet, entsteht ein Bild des Gegenstandes. Dieses Bild giebt das Verhältnis von Licht und Schatten verkehrt an, d. h. die hellen Stellen des Gegenstandes erscheinen im Bilde dunkel und umgekehrt (negatives Bild, Fig. 186, links).

Fig. 186.




Zur Herstellung des richtigen (positiven) Bildes (Fig. 186, rechts) läßt man die Sonnenstrahlen durch die das negative Bild tragende Platte hindurch auf sogen. photographisches (lichtempfindliches) Papier einwirken. Da die dunkelsten Stellen der Glasplatte am wenigsten, die hellsten am meisten Licht durchlassen, so kehrt sich das Verhältnis zwischen Licht und Schatten wieder um und das erhaltene Bild (die Kopie) entspricht in der Verteilung von Licht und Schatten dem Gegenstande.

Das Photographieren wurde ums Jahr 1840 erfunden.

Der vollkommenste aller optischen Apparate ist das **Auge**, dessen Einrichtung mit der der Dunkelkammer eine gewisse Ähnlichkeit hat, denn wie bei dieser umschließt die Wand des Auges einen dunklen Raum, in dem auf der Rückseite von einem vor dem Auge befindlichen Gegenstande ein kleines umgekehrtes Bild entsteht (Fig. 187).

Fig. 188.

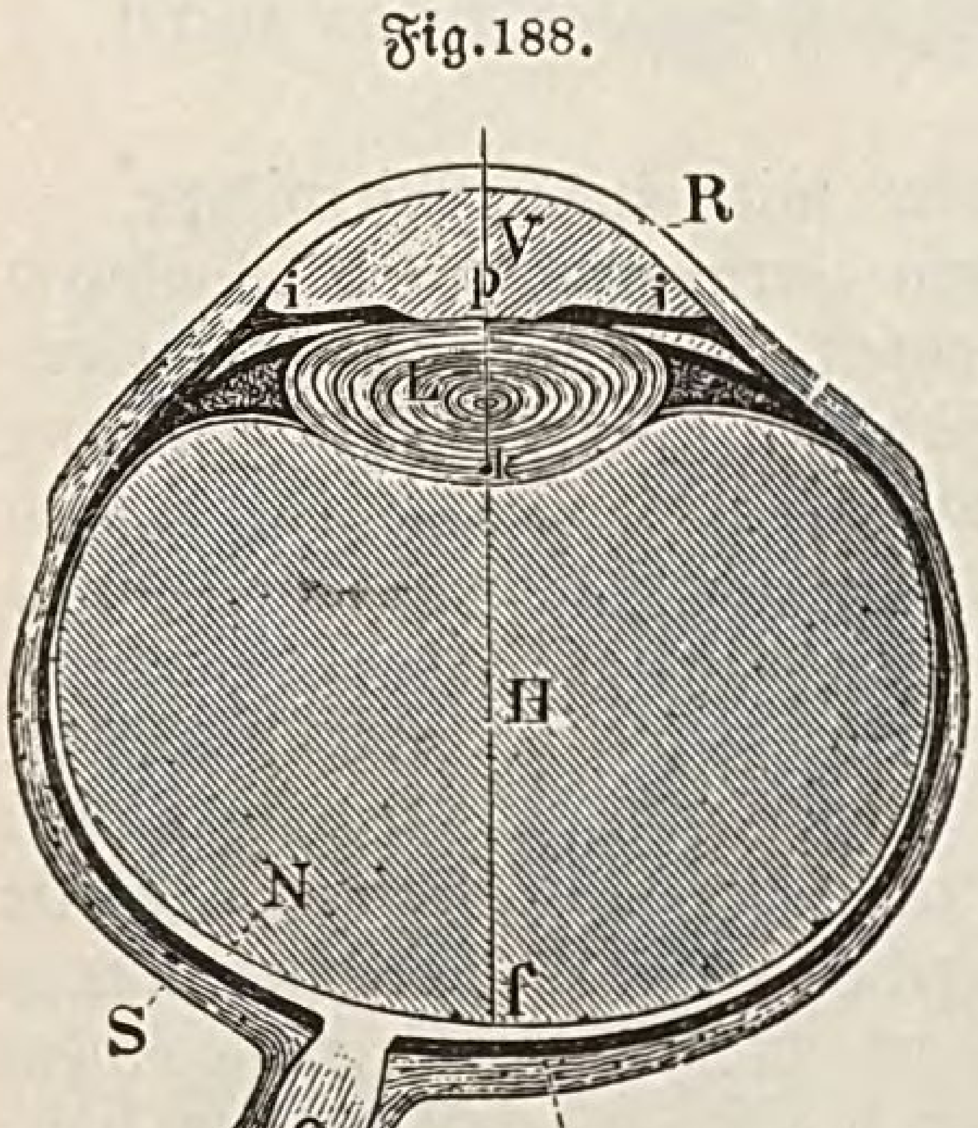
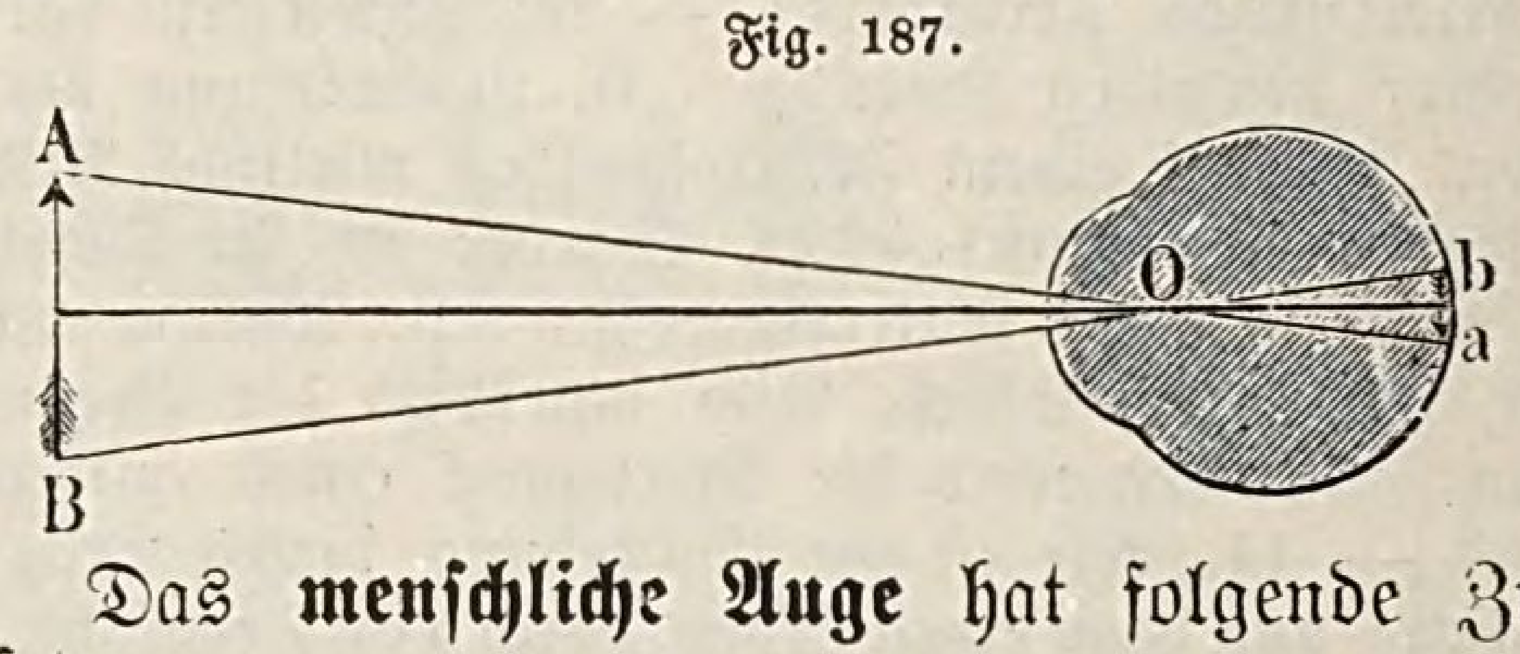



Fig. 187.




Das **menschliche Auge** hat folgende Zusammensetzung:

Die äußere Wand des nahezu kugeligen Augapfels (Fig. 188) besteht aus einer starken, harten Haut, die nur in ihrem vor-

deren Teile (R) durchsichtig und zugleich stärker gekrümmt ist. Dieser durchsichtige Teil heißt **Hornhaut**. Der hintere, undurchsichtige Teil heißt **Sehnenhaut**, auch **harte** oder **weiße Haut** (S).

Da, wo die stärkere Krümmung des Augapfels beginnt, befindet sich in seinem Innern eine flache, kreisförmige Scheidewand, die **Iris** oder **Regenbogenhaut** (ii). Sie hat in ihrer Mitte für den Durchgang der Lichtstrahlen eine kreisrunde Öffnung, die **Pupille** (P). Unmittelbar hinter der Regenbogenhaut liegt die **Krystalllinse** (L), ein glasheller, durchsichtiger Körper, der die Gestalt einer Sammellinse hat. Der Raum zwischen Hornhaut und Regenbogenhaut, die sogen. **vordere Augenkammer** (V), ist mit einer klaren Flüssigkeit ausgefüllt.

Die Pupille erscheint im Auge als schwarzer Fleck, dessen Größe namentlich von der Helligkeit abhängt. Je stärker die Beleuchtung ist, desto mehr verengt sich die Pupille, während sie sich bei schwacher Beleuchtung erweitert. Der Rand der Krystalllinse bleibt stets durch die Regenbogenhaut verdeckt, so daß nur durch die Mitte der Linse Licht in das Auge gelangen kann.

Der von der Sehnenhaut umschlossene Teil des Auges bildet die sogen. **hintere Augenkammer** (H), die durch eine gallertartige Masse, den Glaskörper, ausgefüllt wird. Die Wand der hinteren Augenkammer ist mit mehreren dünnen Häuten ausgekleidet. Die der Sehnenhaut zunächst aufliegende Haut (A) enthält zahlreiche feine Blutgefäße, welche das Auge ernähren. Sie ist beim Menschen tiefschwarz und wird **Aderhaut** genannt. Vorn bildet sie um die Linse herum eine ringförmige Einfassung und geht in die Regenbogenhaut über. Die innere Seite der Aderhaut ist von der **Netzhaut** (N) bedeckt, dem eigentlichen Organ zur Aufnahme der Lichtreize.

Die schwarze Farbe der **Aderhaut** ist für die Deutlichkeit des Bildes von großem Vorteil, indem sie eine Zurückwerfung der ins Auge fallenden Strahlen verhindert. Die **Netzhaut** wird durch eine Ausbreitung des Sehnervs (o) gebildet und hat einen sehr zusammengesetzten Bau. An der Stelle, an welcher der Sehnerv vom Gehirn her ins Auge eintritt, ist die Netzhaut empfindungslos (**blinder Fleck**), während sie da, wo das Bild eines Gegenstandes entsteht, auf den wir unser Auge richten, für Lichteindrücke am empfindlichsten ist (**gelber Fleck**, f). Die Lichtstrahlen, welche in das Auge gelangen, werden bei ihrem Durchgange durch die verschiedenen lichtbrechenden Mittel (Hornhaut, wässerige Feuchtigkeit, Linse, Glaskörper) gebrochen, und vereinigen sich auf der Netzhaut zu einem kleinen umgekehrten Bilde des Gegenstandes. Das Auge wirkt also wie eine Sammellinse; seine Rückwand entspricht dem Schirme, der die entstehenden wirklichen Bilder auffängt (vergl. Fig. 172 und 187).

---

**Übungsstoff.** **1.** Welcher Teil des Auges entspricht a. der Linse in Fig. 184 und 185, b. der hinteren Glasplatte, c. dem Innenraume des Apparates? (Unterschiede!) — **2.** Welche Ersch. wird die Linse eines tierischen Auges, z. B. eines Ochsenauges, zeigen, wenn man durch dieselbe kleine Schrift betrachtet? (Einfluß der Entfernung!) — **3.** Warum hängt sich der Photograph beim genauen Einstellen der Dunkelkammer ein schwarzes Tuch über den Kopf? — **4.** Beim Photographieren wird im Ansatzrohre des Apparates eine Blende eingeschaltet, d. h. ein dunkles Blech, das in der Mitte eine kreisförmige Öffnung hat; dadurch nimmt das Bild auf der mattgeschliffenen Glasplatte an Lichtstärke etwas ab, an Schärfe dagegen zu. Welchem Teile des Auges entspricht diese Blende? — **5.** Welche Lage nimmt dieser Teil des Auges gegen die Linse ein, u. w.? — **6.** Durch welche wichtige Eigenschaft unterscheidet sich die Blende des Auges von allen künstlichen Blenden? — **7.** Wie verfährt der Photograph, um den vorzeitigen Eintritt des Lichtes in die Dunkelkammer zu verhindern? — **8.** Welcher Teil des Auges entspricht diesem Hilfsapparate? (Weitere Bedeutung desselben!) — **9.** Angenommen, ein künstliches Auge wäre so eingerichtet, daß auf seiner hinteren Wand von einem Gegenstande ein deutliches Bild entstände. Warum würde man mit einem solchen Auge den Gegenstand doch nicht sehen können? — **10.** Welchen Vorteil gewährt die Einrichtung, daß sich das Auge in der Augenhöhlung drehen kann?

---

**§ 55*. Das Sehen.** Das Bild eines Gegenstandes in der Dunkelkammer ist nur dann ein scharfes, wenn durch Verschieben der Linse ihr Abstand vom Schirme der Entfernung des Gegenstandes angepaßt wird. Auch im Auge würde nur bei bestimmter Entfernung des Gegenstandes auf der Netzhaut ein Bild entstehen, wenn die Krystalllinse in ihrer Lage und Gestalt unveränderlich wäre. Die Erfahrung lehrt aber, daß ein gesundes Auge das Vermögen besitzt, sich verschiedenen Entfernungen anzupassen: Accommodationsvermögen. Die kleinste Entfernung, in der es die Gegenstände ohne Anstrengung deutlich sieht, beträgt ungefähr 24 cm (normale Sehweite). Die Anpassung des Auges für die Nähe beruht auf einer stärkeren Krümmung der Linse.

Bei kurzsichtigen Augen ist die deutliche Sehweite kleiner als bei vollständig gesunden Augen; sie können sich nicht für die Ferne accommodieren, weil sich infolge krankhafter Veränderungen im Bau des Auges die Lichtstrahlen schon vor der Netzhaut zu einem Bilde vereinigen (Fig. 189). Kurzsichtige müssen daher,

Fig. 189.

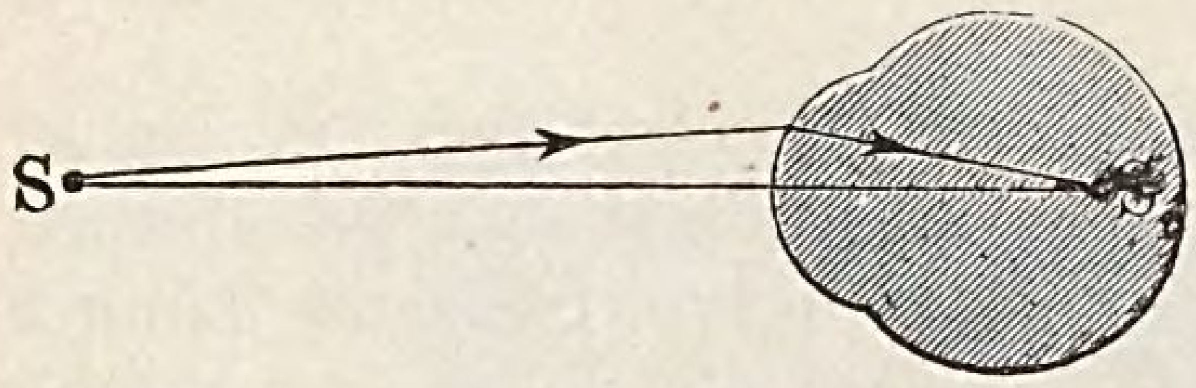
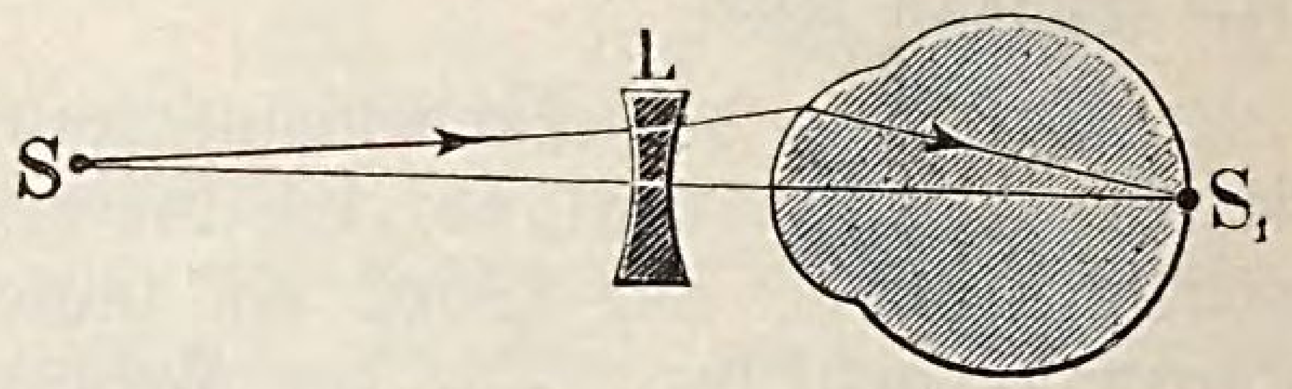



Fig. 190.




um diesen Fehler auszugleichen, **Brillen mit hohlen Gläsern** tragen, welche die Lichtstrahlen vor der Brechung im Auge erst stärker zerstreuen (Fig. 190).

Bei weitsichtigen Augen ist die deutliche Sehweite größer als bei gesunden Augen; sie können sich nicht für die Nähe accommodieren, weil die Linse ihre Elasticität verloren hat oder die Augenachse überhaupt zu kurz ist. Von nahen Gegenständen würde daher das Bild, wenn es überhaupt entstehen könnte, hinter die Netzhaut fallen (Fig. 191), da die Strahlen nicht stark genug gebrochen werden.

Fig. 191.

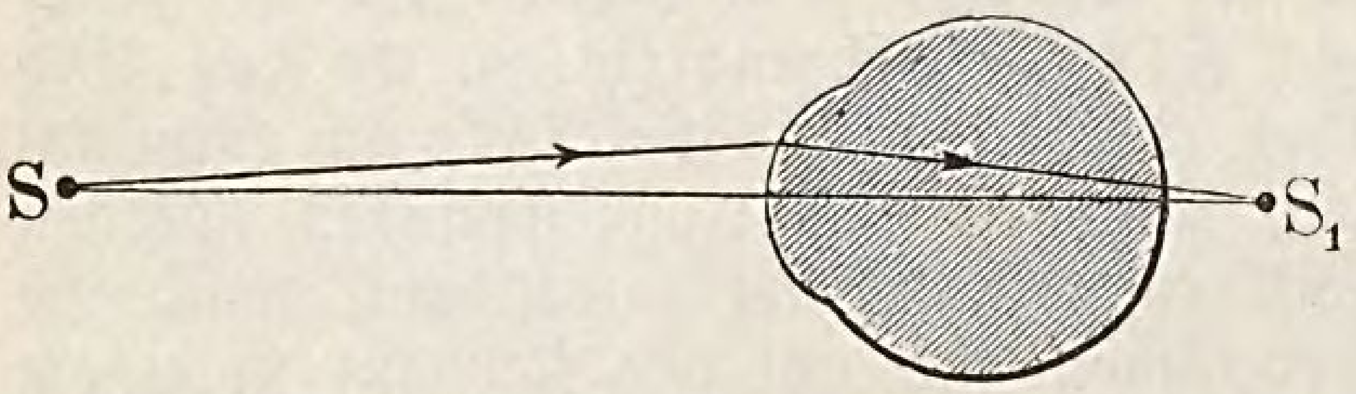
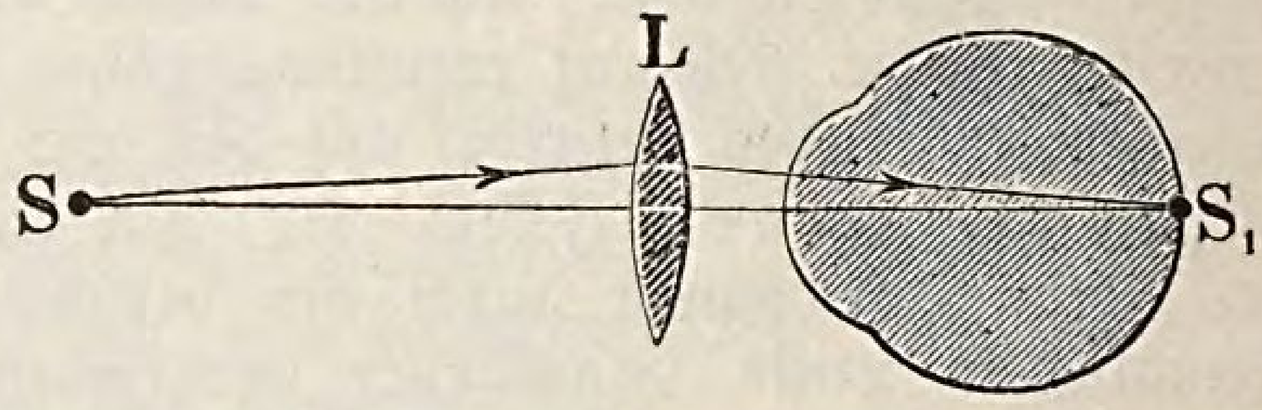


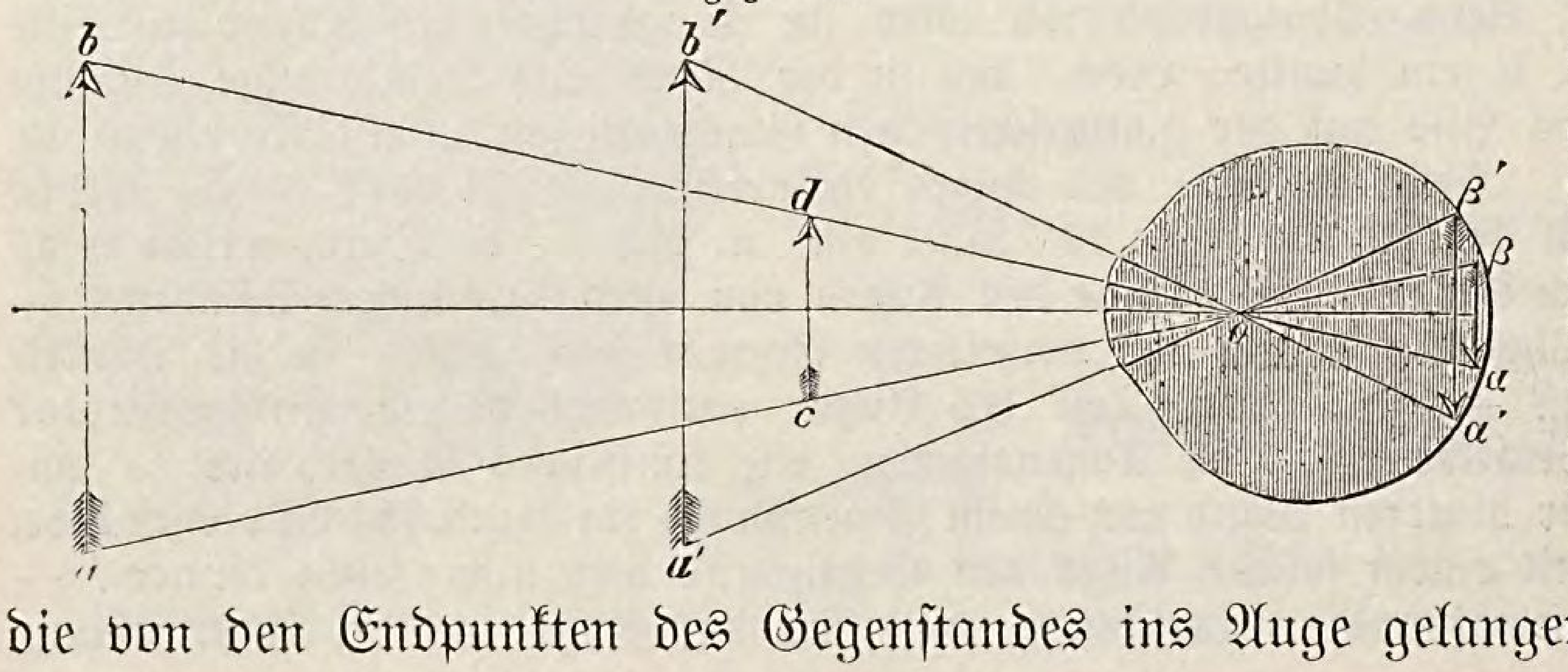

Fig. 192.




Für Weitsichtige sind somit **Brillen mit erhabenen Gläsern** erforderlich (Fig. 192).

Die Gewohnheit, Gegenstände beim Betrachten dem Auge zu nahe zu bringen (z. B. beim Lesen, Schreiben u. s. w., besonders im Dämmerlichte) hat namentlich bei jüngeren Leuten leicht Kurzsichtigkeit zur Folge. Ältere Personen werden häufig weitsichtig, da mit dem Alter die Accommodationsfähigkeit des Auges abnimmt. Wird die Krystalllinse trübe, so entsteht der sogen. graue Star; wird die Netzhaut unempfindlich, der sogen. schwarze Star. — Die Brillen wurden gegen Ende des 13. Jahrhunderts erfunden.

Fig. 193.




Die Größe der Netzhautbilder, also die scheinbare Größe eines Gegenstandes, ist von der Größe des **Sehwinkels** abhängig (Fig. 193). Dieser wird von den Strahlen gebildet, die von den Endpunkten des Gegenstandes ins Auge gelangen. Gegenstände von

gleicher Größe, z. B. Bäume in Alleen, Häuser in langen Straßen u. s. w., können uns somit in ganz verschiedener Größe erscheinen, ebenso wie umgekehrt Gegenstände von verschiedener Größe uns gleichgroß erscheinen können. Die richtige Beurteilung der wirklichen Größe des Gegenstandes ist Sache der Erfahrung.

Bei der Beurteilung der Größe und Entfernung der Gegenstände sind wir allerlei Täuschungen ausgesetzt. So halten wir z. B. Berge bei nebligem Wetter leicht für weiter entfernt und höher, als sie wirklich sind; sind sie dagegen mit Schnee bedeckt und ist die Luft klar, so erscheinen sie uns niedriger und näher.

Die beiden Bilder, welche bei der Betrachtung eines Gegenstandes in unseren Augen entstehen, können nicht genau übereinstimmen, da die Augen wegen ihres gegenseitigen Abstandes eine verschiedene Lage zu dem betrachteten Gegenstande einnehmen. Betrachtet man z. B. den Rücken eines senkrecht gehaltenen Buches, so erblickt man auch beide Seiten des Umschlages. Schließt man dann abwechselnd je ein Auge, so überzeugt man sich leicht, daß das rechte Auge mehr von der rechten, das linke mehr von der linken Seite sieht. (In Fig. 194 ist diese Erscheinung an einem Würfel dargestellt.)

Fig. 194.

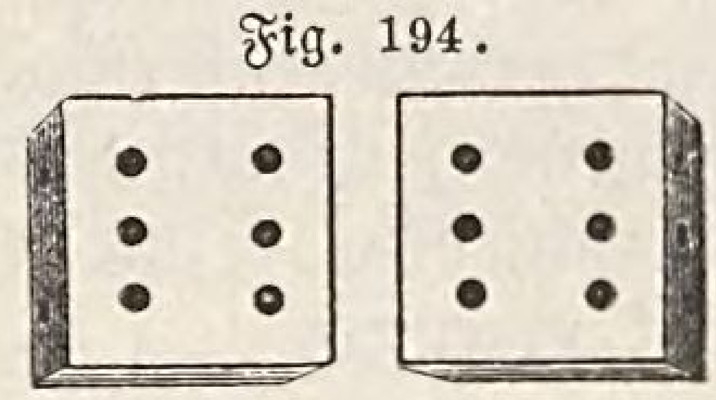
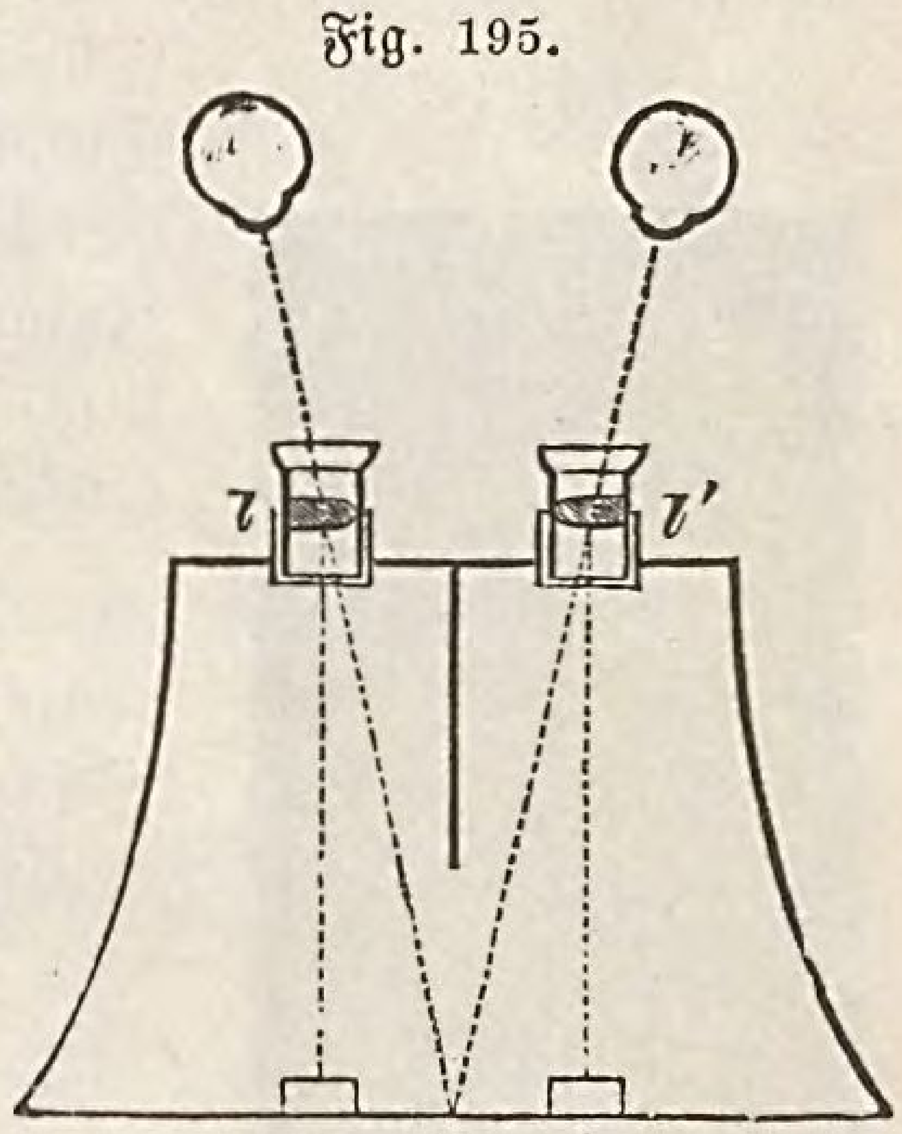


Fig. 195.




In dieser Verschiedenheit der Netzhautbilder liegt der Grund, daß uns die Gegenstände nicht als flache Bilder, sondern als Körper erscheinen. Dies läßt sich durch das **Stereoskop** (Fig. 195) nachweisen, d. h. durch einen Kasten, dessen Deckel 2 keilförmige Gläser enthält, deren brechende Kanten gegeneinander gerichtet und die um den gegenseitigen Abstand der beiden Augen voneinander entfernt sind. Damit Licht in den Kasten dringen kann, ist nach vorn gewöhnlich eine Klappe angebracht.

Legt man auf den Boden des Kastens ein den beiden Netzhautbildern entsprechendes Doppelbild, dessen beide Hälften einen Gegenstand so darstellen, wie ihn die Augen einzeln erblicken würden, so sieht man nicht zwei Bilder, sondern glaubt einen Körper zu sehen. Die beiden Bilder erscheinen nämlich durch die Brechung der von ihnen ausgehenden Lichtstrahlen so gegeneinander verschoben, daß sie sich decken, und vereinigen sich durch eine unbewußte Thätigkeit des Gehirns zur Hervorbringung eines körperlichen Eindruckes.

Gewisse Erscheinungen beweisen, daß die Lichteindrücke, besonders wenn das Licht stark ist, noch eine kurze Zeit nachempfunden werden. Wird z. B. eine glühende Kohle schnell bewegt, so sieht man feurige Linien, die in Wirklichkeit gar nicht vorhanden sind. Der Blitz erscheint uns als lange Zickzacklinie, obgleich er nur ein mit großer Geschwindigkeit fortschreitender Funke ist. Wird ein auf beiden Seiten mit verschiedenen Figuren bemaltes und an 2 Fäden gehaltenes Kartenblatt schnell gedreht, so sieht man die Figuren beider Seiten zugleich. (Vogel im Bauer u. dgl.) — Die sogen. Wundertrommel und zahlreiche ähnliche Vorrichtungen beruhen auf der Fortdauer des Lichteindruckes.

---

**Übungsstoff.** 1. Was für Brillengläser gebrauchen Kurzsichtige, was für welche dagegen Weitsichtige? Erkl.! — 2. Wirkung, wenn man in Fig. 190 und 192 die Gläser vertauscht? — 3. Man denke sich, das hohle Glas (Fig. 190) werde weiter vom Auge entfernt. Würde dann der obere Strahl das Auge in demselben, einem höheren oder tieferen Punkte treffen? — 4. Erkläre hieraus, was für einen Einfluß der Abstand eines solchen Brillenglases auf die Menge der ins Auge gelangenden Lichtstrahlen ausüben muß? — 5. Angenommen, das erhabene Glas (Fig. 192) werde weiter vom Auge entfernt. Welchen Einfluß würde dies auf die Menge der ins Auge gelangenden Strahlen ausüben? — 6. Worin hat es demnach seinen Grund, daß Kurzsichtige ihre Brillen möglichst nahe vor die Augen setzen, Weitsichtige dagegen sie am liebsten weiter vom Auge entfernen? — 7. Große Gewässer, über die man ganz hinübersehen kann, erscheinen vom Ufer aus ge-

wöhnlich schmäler, als sie sind. Grund! — **8.** Manche Leute meinen, das W. ziehe die Kugeln der Geschütze an. Wie mag diese Meinung entstanden sein? — **9.** Bei sehr nebligem Wetter kann es vorkommen, daß man die Spitze eines nahen aufrechten Stabes für eine entfernte Turmspitze hält. Erkl.! — **10.** Hohe Türme erscheinen uns gewöhnlich zu niedrig, aber in ziemlich richtiger Größe, wenn zugleich ein Mensch darauf sichtbar ist; w.? — **11.** Durch welche Eigenschaft unserer Augen gewinnen die Erschn., welche Sternschnuppen, Raketen, Feuerräder u. dgl. zeigen, an Schönheit, und inwiefern? — **12.** Angenommen, eine Saite werde glühend gemacht, während sie tönt. Welche Ersch. würde dadurch entstehen? — **13.** Von 2 farbigen Kreiseln sei der eine längs, der andere quer farbig gestreift. Welcher Unterschied giebt sich zu erkennen, wenn beide schnell umlaufen?

---

## § 56*. Farbenzerstreuung. Körperfarben.

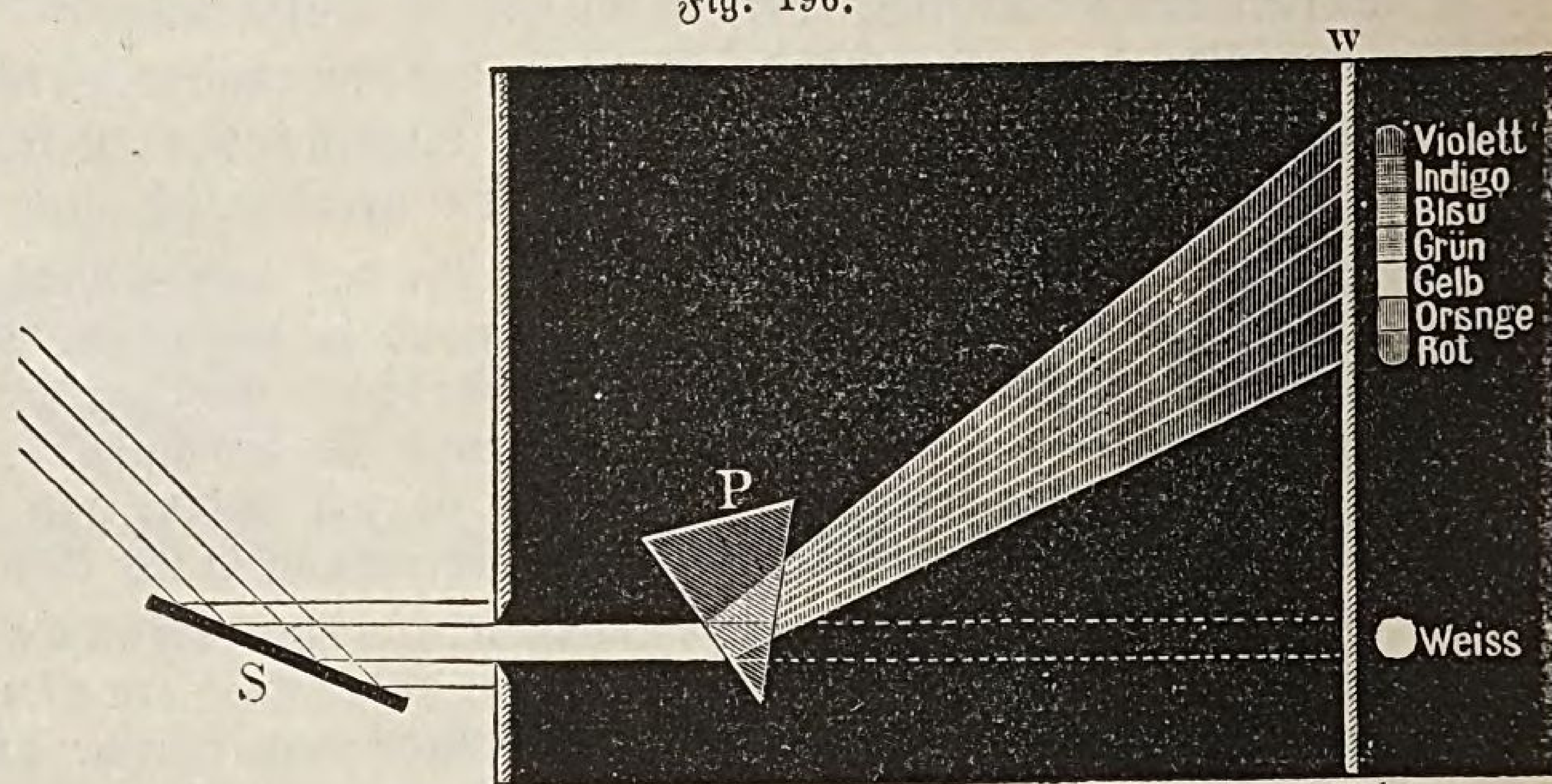
Manche Lichterscheinungen, wie z. B. der Regenbogen und das bekannte Farbenspiel eines durch Glasprismen verzierten Kronleuchters, deuten darauf hin, daß sowohl das Sonnenlicht, als auch das Licht irdischer Lichtquellen verschiedenfarbige Strahlen enthält, die durch ihr Zusammenwirken bestimmte Lichteindrücke hervorrufen, ähnlich wie verschiedene Töne einen als Klang bezeichneten Schalleindruck erzeugen.

Fig. 197.



Welche farbigen Bestandteile das Sonnenlicht enthält, zeigen die Regenbogenfarben. Um durch einen Versuch das Sonnenlicht in diese Bestandteile zu zerlegen, läßt man Sonnenstrahlen durch eine enge Öffnung in ein verdunkeltes Zimmer eintreten und dann durch ein Glasprisma hindurchgehen (Fig. 196). In dem so entstehenden Lichtstreifen können 6 oder

Fig. 196.




7 Farben unterschieden werden, nämlich rot, orange, gelb, grün, blau (indigo), violett. Diese Farben sind jedoch nicht scharf abgegrenzt, sondern zeigen einen allmählichen Übergang (Fig. 197).

Die Zerlegung des Lichtes in seine Farben wird **Farbenzerstreuung**, das durch die Zerlegung entstehende farbige Bild **Spektrum** genannt.

Das **weiße Licht** besteht aus Strahlen von ungleicher Brechbarkeit, die nach ihrer Zerstreuung verschiedene Farbeneindrücke hervorrufen. Die am stärksten brechbaren Strahlen erzeugen die violette, die am schwächsten brechbaren die rote Farbe.

Die einzelnen Farben des Spektrums lassen sich nicht weiter zerlegen, sie bilden daher die einfachsten Bestandteile des Lichtes. Durch Vereinigung aller Farben des Spektrums mittelst einer Sammellinse entsteht wieder Weiß. Da Weiß auch schon durch Vereinigung von je 2 bestimmten Farben, nämlich Rot und Grün, oder Orange und Blau, oder Gelb und Violett erhalten wird, so bezeichnet man diese Farbenpaare als **Ergänzungsfarben.**

Die meisten Körper der Erde, von denen Licht in unser Auge dringt, erscheinen uns in bestimmten Farben. In welcher Farbe uns ein Körper erscheint, hängt davon ab, welche von den farbigen Bestandteilen des Lichtes von ihm ausgelöscht werden, denn nur der nicht ausgelöschte Teil kann in unser Auge gelangen, indem er zurückgeworfen oder durchgelassen wird.

Die Farbe, welche ein Körper im Tageslichte zeigt, wird seine **natürliche Farbe** genannt.

Daß ein Körper bei künstlicher Beleuchtung auch in einer anderen als seiner natürlichen Farbe erscheinen kann, zeigt die bekannte Farbenveränderung, die man z. B. bei bengalischer Beleuchtung an manchen Gegenständen wahrnimmt. So erscheinen Pflanzenblätter in rotem Lichte beinahe schwarz, in gelbem grau, in grünem wieder grün u. s. w. Im gelben Lichte einer Weingeistlampe, deren Docht mit Kochsalz eingerieben wurde, verschwinden alle Farbenunterschiede und nur die gelbe Farbe bleibt ungeändert.

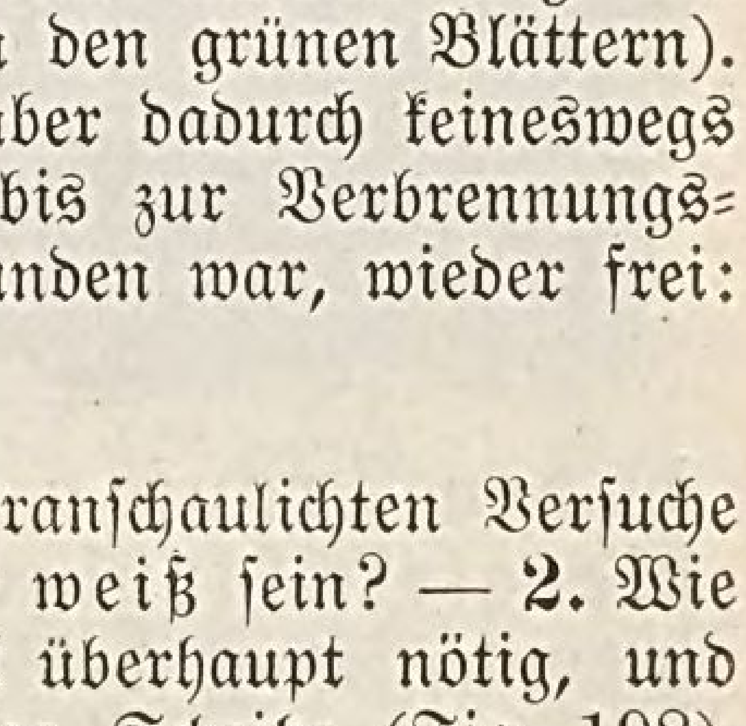
Ein durchsichtiger Körper erscheint uns im Tageslichte **farbig,** wenn er nur gewisse Strahlengattungen, **farblos,** wenn er alle farbigen Bestandteile des Lichtes in gleichem Verhältnisse durchläßt. — Ein undurchsichtiger Körper erscheint **weiß,** wenn er alle Bestandteile des Sonnenlichtes in gleichem Verhältnisse unregelmäßig zurückwirft, **farbig,** wenn von ihm nur gewisse Strahlengattungen zurückgeworfen, **schwarz,** wenn sie alle ausgelöscht werden.

An Stelle des in einem Körper ausgelöschten Lichtes tritt gewöhnlich Wärme auf. Nur wenige Körper vermögen, nachdem sie längere Zeit dem Sonnenlichte ausgesetzt waren, im Dunklen wieder Licht auszustrahlen (Leuchtsteine, welche zu Feuerzeugbehältern, Leuchtern, Zifferblättern auf Taschenuhren u. dgl. verwendet werden). Durch das Sonnenlicht, welches auf die lebenden Pflanzen einwirkt, findet eine Umwandlung von Pflanzennährstoffen in Baumaterial der Pflanze statt (namentlich in den grünen Blättern). Die Kraft des von der Pflanze aufgenommenen Sonnenlichtes ist aber dadurch keineswegs vernichtet. Denn wenn wir Pflanzenteile (Holz, Torf u. s. w.) bis zur Verbrennungstemperatur erhitzen, so wird die Kraft, die bis dahin gleichsam gebunden war, wieder frei: es entsteht von neuem Wärme und Licht.

---

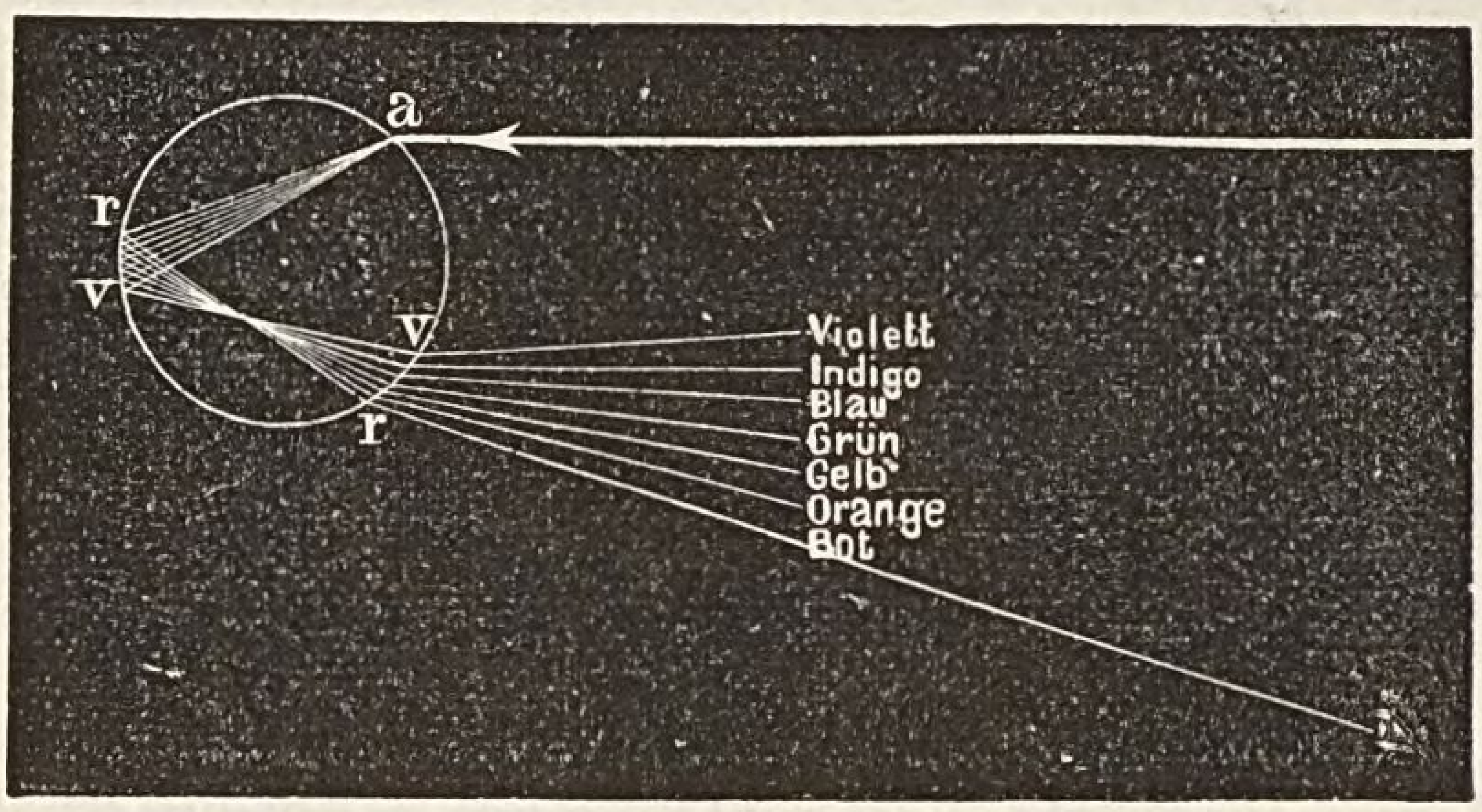
**Übungsstoff.** 1. Warum muß bei dem durch Fig. 196 veranschaulichten Versuche das Zimmer möglichst stark verdunkelt werden und der Schirm ww[1] weiß sein? — 2. Wie wirkt der Spiegel S (Fig. 196)? — 3. Warum ist dieser Spiegel überhaupt nötig, und wonach muß sich seine Lage richten? — 4. Wird eine kreisförmige Scheibe (Fig. 198), auf welche die Farben des Spektrums möglichst rein aufgetragen sind, schnell gedreht, so verschwinden die Farben sämtlich (die Scheibe erscheint schmutzigweiß). Erkl.! — 5. Wenn eine etwa halb mit W. gefüllte Trinkflasche im direkten Sonnenlichte am Fenster steht, so ist auf dem Fußboden des Zimmers ein regenbogenähnlicher Schein sichtbar. Erkl.! — 6. Inwiefern kann man sagen, daß wir an farbigen K. nur Reste vom Sonnenlichte erblicken? — 7. Wie verhalten sich die K., welche uns a. weiß, b. schwarz, c. durchsichtig erscheinen, gegen Sonnenstrahlen? — 8. Wie müßte das Spektrum des Sonnenlichtes beschaffen sein, wenn man die Strahlen durch ein rotes, grünes oder blaues Glas leitete, dessen Farbe eine reine Spektralfarbe wäre? — 9. Gegen eine von farbigen Glasstreifen umgebene, durchsichtige und farblose Glasscheibe scheine die Sonne. Welche Unterschiede werden sich dann zu erkennen geben, wenn man nach längerer Zeit die Hand dagegen hält? — 10. Was läßt sich daraus schließen, daß sich auch eine farblose, durchsichtige Glasscheibe ebenso wie ein weißer K. in der Sonne nach und nach erwärmt? — 11. Ein dunkles Blatt sinkt im Sonnenscheine tiefer in Eis ein als ein heller Stein. Erkl.!

Fig. 198.



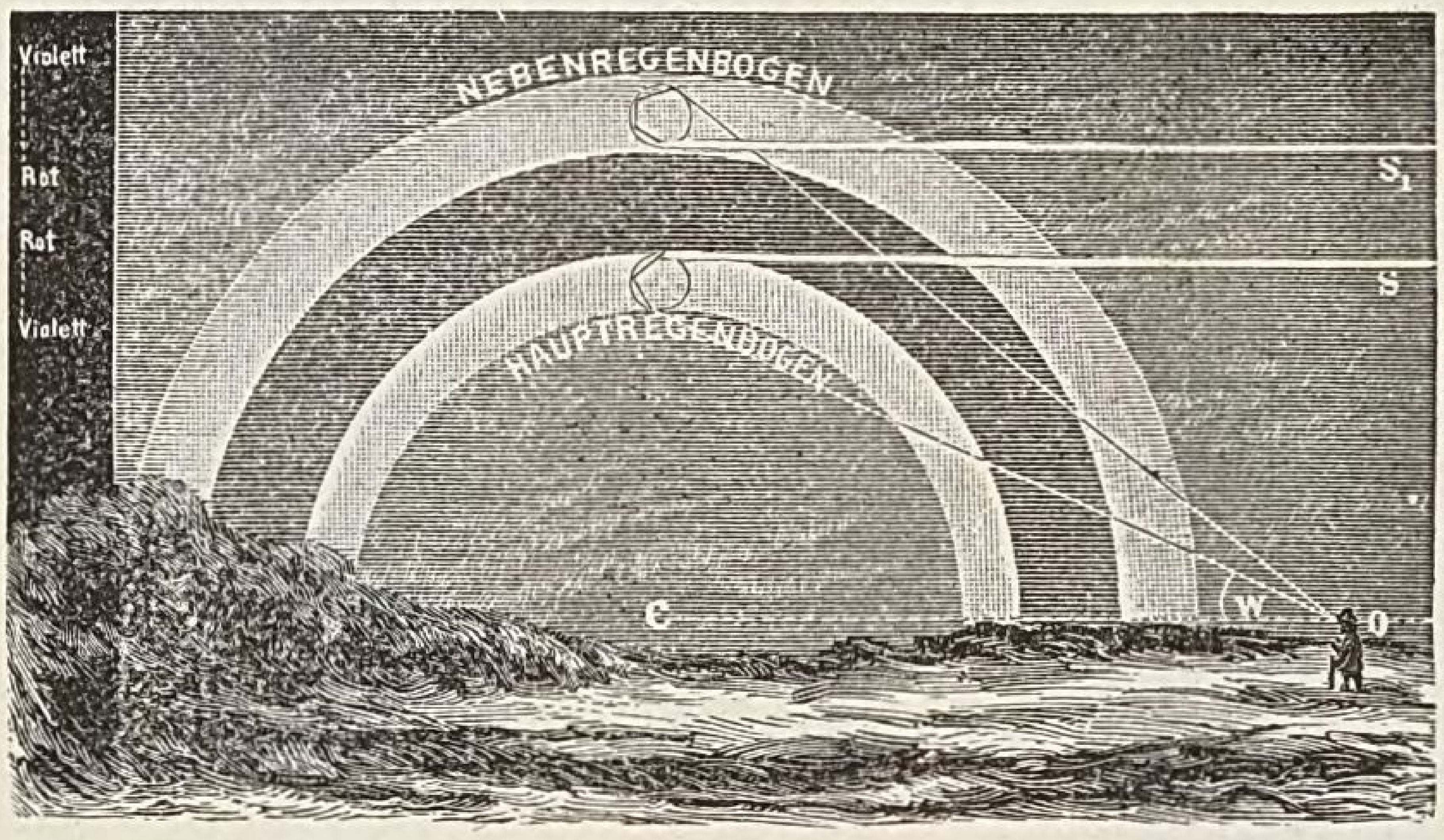
**§ 57*. Regenbogen.** Wassertropfen (z. B. Tautropfen) zeigen im Sonnenscheine häufig farbigen Glanz. Dies erklärt sich daraus, daß die Strahlen beim Eintritte in den Tropfen (bei a, Fig. 199) nicht allein gebrochen, sondern zugleich in ihre farbigen Bestandteile zerlegt werden. Ein Teil der farbigen Strahlen wird von der hinteren Fläche des Tropfens zurückgeworfen und an der vorderen Fläche beim Übergange in die Luft abermals gebrochen. Je nachdem sich nun das Auge in der Richtung des einen oder anderen farbigen Strahles befindet, erscheint der Tropfen rot, orangefarbig, gelb, grün blau oder violett.

Fig. 199.




Hiernach wird die bekannte Erscheinung des **Regenbogens** erklärlich, die wir wahrnehmen, wenn vor uns eine regnende Wolke und hinter uns die Sonne steht (Fig. 200). Fiele nämlich ein einziger Wassertropfen nahe vor uns herab, so würde er, wenn wir ihn mit dem Auge verfolgen könnten, auf einer gewissen Strecke seines Weges nacheinander in sämtlichen Farben des Spektrums vom Rot bis zum Violett glänzen. Diese Farben können bei größerer Entfernung des Tropfens jedoch nur dann deutlich erkennbar sein, wenn zahlreiche Strahlen derselben Farbe ins Auge dringen, wenn also das in den Tropfen eingedrungene Sonnenlicht so wieder austritt, daß die gleichfarbigen Strahlen parallel sind. Dies ist nur bei einer bestimmten Lage des Tropfens gegen Sonne und Auge möglich.

Fig. 200.




Daß wir alle Farben zugleich sehen, ist eine Folge von dem Zusammenwirken zahlreicher Tropfen. Alle Tropfen, die gegen Sonne und Auge eine gleiche Lage haben, d. h. so liegen, daß die in sie eintretenden Sonnenstrahlen mit den ins Auge fallenden Strahlen gleiche Winkel bilden, müssen auch gleiche Farbeneindrücke hervorrufen. Jeder Farbenstreifen muß daher die Form eines Kreisbogens haben. Der Mittelpunkt (C) des Regenbogens liegt hiernach auf einer durch die Sonne und das Auge des Beobachters gehenden geraden Linie (OC).

Die Stärke des Glanzes, in dem uns der Regenbogen erscheint, hängt von der Anzahl der ins Auge gelangenden gleichfarbigen Strahlen, also von der Dicke der Regenwand ab. — Bisweilen nimmt man außerhalb des Hauptregenbogens noch einen **Nebenregenbogen** wahr, dessen Glanz matter ist, und dessen Farben in umgekehrter Ordnung, wie beim Hauptregenbogen, aufeinander folgen. Er entsteht durch zweimalige Zurückwerfung der gebrochenen Strahlen (Fig. 199).

**Übungsstoff.** 1. Auf einer mit Tau benetzten Wiese erscheinen von einem bestimmten Standpunkte aus immer nur gewisse Tropfen farbig; w.? — 2. Wenn man sich einem farbig glänzenden Tautropfen mehr und mehr nähert, oder überhaupt seine Stellung gegen den Tropfen ändert, so ändert sich auch die Farbe und schließlich erscheint der Tropfen farblos. Erkl.! — 3. Inwiefern hängt es von der Entfernung des Tropfens ab, ob eine oder mehrere Farben darin zu erkennen sind? — 4. Wie muß sich beim Regenbogen die Ersch., die der einzelne Tropfen der Regenwand hervorruft, beim Niederfallen des Tropfens ändern? — 5. Unter welcher Bedingung kann in dem Wasserstaube eines Springbrunnens oder eines Wasserfalles ein Regenbogen entstehen? — 6. Wie erklärt es sich, daß der Regenbogen an der äußeren Seite rot, an der inneren violett ist? — 7. Wie ferner, daß die Farbenstreifen kreisförmig sind? — 8. Warum müssen die Streifen konzentrisch übereinanderliegen? — 9. Wovon hängt es ab, wie hoch der Regenbogen am Himmel steht? — 10. Einfluß der Tages- und Jahreszeiten! — 11. Wann bildet der Regenbogen einen Halbkreis? — 12. Worin hat es seinen Grund, daß ein Regenbogen desto heller erscheint, je dicker die Tropfenwand ist? — 13. Warum kann ein Mondregenbogen nicht so hell sein als ein Sonnenregenbogen? — 14. Vergleich zwischen Haupt- und Nebenregenbogen!

# 5. Abschnitt.

# Von der Wärme.

## A. Wirkungen der Wärme.

### § 58. Thermometer. Mitteilung von Wärme.

Fig. 201.




Wenn man einen festen Körper berührt, so hat man außer dem Gefühle, daß er entweder hart oder weich, rauh oder glatt u. s. w. ist, häufig noch eine besondere Empfindung, nach der man ihn als heiß, warm, kühl oder kalt bezeichnet. Derartige Empfindungen können auch flüssige und luftförmige Körper in uns hervorrufen: wir unterscheiden z. B. warmes und kaltes Wasser, warme und kalte Luft. Die Ursache, durch welche diese Empfindungen hervorgerufen werden, heißt **Wärme.**

Der Wärmezustand (Wärmegrad) eines Körpers läßt sich durch das Gefühl nur annähernd ermitteln. Zur genauen Bestimmung desselben wendet man Instrumente an, welche Thermometer oder Wärmemesser genannt werden. Am gebräuchlichsten sind die **Quecksilberthermometer** (Fig. 201). Sie bestehen aus einer sehr engen, aber überall gleichweiten Glasröhre, die an einem Ende kugelig oder cylindrisch aufgeblasen, und am anderen Ende zugeschmolzen ist. Die Erweiterung und ein Teil der engen Röhre sind mit Quecksilber gefüllt; über dem Quecksilber ist die Röhre luftleer. Auf oder neben der Röhre befindet sich zum Ablesen des Wärmegrades eine gewöhnlich auf Holz oder Metall geschriebene Teilung oder Skala, in der zwei Punkte durch die Buchstaben EP (Eispunkt) und SP (Siedepunkt) besonders hervorgehoben sind. Bis zum ersteren Punkte sinkt das Quecksilber, wenn man das Thermometer in schmelzenden Schnee taucht; bis zum letzteren steigt es, wenn man die Dämpfe von kochendem Wasser einwirken läßt. Der Abstand dieser beiden Punkte ist in eine bestimmte Anzahl gleicher Teile, Grade, eingeteilt.

Nach der Einteilung der Skala unterscheidet man Thermometer nach **Reaumur** und **Celsius**. Erstere enthalten vom Gefrierpunkte bis zum Siedepunkte 80, letztere 100 Grad. Die Teilung geht gewöhnlich noch über den Gefrierpunkt, häufig auch über den Siedepunkt hinaus. Man zählt die Grade vom Gefrierpunkte aus. Da dieser mit 0 bezeichnet ist, so nennt man ihn auch den Nullpunkt. Die Grade über 0 werden Wärmegrade, die unter 0 Kältegrade genannt; Wärmegrade bezeichnet man durch ein vorgesetztes Pluszeichen (+), Kältegrade durch ein Minuszeichen (—). Ein nachfolgendes R oder C giebt die Art der Skala an.

Beispiel. $+20^{\circ}$ C wird gelesen: plus 20 Grad Celsius und bedeutet: 20 Grad Celsius über dem Gefrierpunkte; $-20^{\circ}$ C wird gelesen: minus 20 Grad Celsius und bedeutet: 20 Grad Celsius unter dem Gefrierpunkte.

Da $80^{\circ}$ R = $100^{\circ}$ C sind, so ist $1^{\circ}$ R = $\frac{5}{4}{}^{\circ}$ C; $1^{\circ}$ C dagegen = $\frac{4}{5}{}^{\circ}$ R. Der Wärmegrad eines Körpers wird als **Temperatur** bezeichnet.

In England, Holland und Nordamerika sind Thermometer im Gebrauche, an welchen der Siedepunkt des Wassers mit 212, und sein Gefrierpunkt mit 32 bezeichnet ist (Thermometer nach **Fahrenheit**).

Die ersten, noch sehr unvollkommenen Thermometer sind ums Jahr 1600 von Galilei erfunden worden.

Die tägliche Erfahrung lehrt, daß ein kalter Körper warm, ein warmer kalt werden kann. Um einen Körper zu erwärmen oder zu erhitzen, bedienen wir uns einer Flamme. Soll ein warmer Körper erkalten, so stellen wir ihn in einen kalten Raum oder bringen ihn mit einem kalten Körper in Berührung (Ablöschen von Eisen durch Eintauchen in kaltes Wasser u. s. w.). Hierbei nimmt der kältere Körper von dem wärmeren solange Wärme auf, bis beide dieselbe Temperatur haben.

Die Temperatur der Körper ist veränderlich. — Wenn Körper von ungleicher Temperatur einander berühren, so findet eine Ausgleichung der Temperatur statt: **Mitteilung der Wärme.**

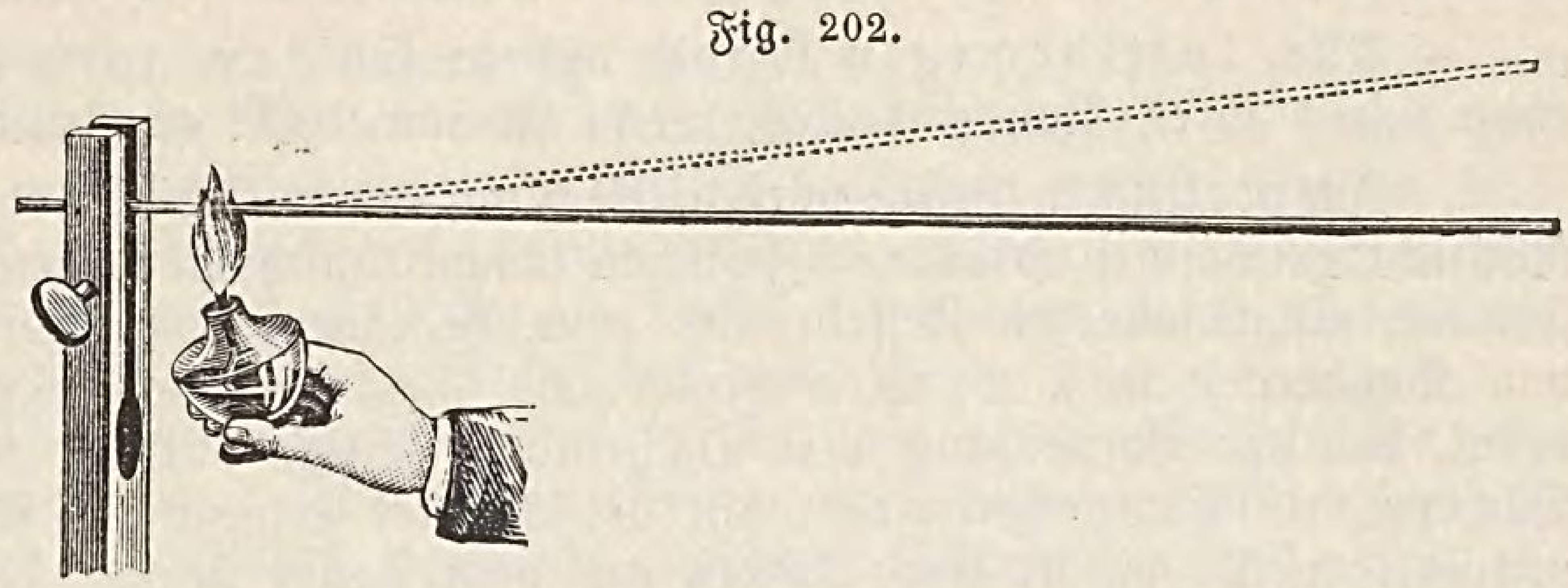
Auf der Mitteilung der Wärme beruht der Gebrauch der Thermometer.

**Übungsstoff.** **1.** Worin stimmen die oben angeführten Therm. überein, und wodurch unterscheiden sie sich? — **2.** Warum muß der Raum über dem Qu. luftleer sein? — **3.** Warum sind die Therm.-Röhren unten gefäßförmig erweitert? — **4.** Warum ist die Wand des Gefäßes dünn, die Wand der Röhre dagegen dick? — **5.** Welche Schutzvorrichtung befindet sich an Zimmer-Thermometern gewöhnlich über der Kugel? — **6.** Für manche Zwecke reicht es aus, Therm. zu benutzen, deren Skala nur bis 40 oder $50^{\circ}$ hinaufgeht. Warum dürfen solche Therm. nicht in Flgkn. eingetaucht werden, die eine höhere Temp. haben? — **7.** Die Kugeln zweier Therm. seien gleichgroß, die Röhren dagegen ungleichweit. Bei welchem wird dann das Qu. bei gleicher Temp.-Erhöhung am schnellsten steigen und fallen, u. w.? — **8.** Was wird eintreten, wenn die Röhren gleichweit und die Kugeln ungleichgroß sind? — **9.** Durch welche Vorrichtung läßt es sich demnach erreichen, daß die Teilstriche der Skala eines Therm. möglichst weit auseinander fallen? — **10.** Kugeln haben bei bestimmtem Rauminhalte die kleinste Oberfläche. Leite hieraus ab, warum für sehr empfindliche Therm. die in Fig. 200 dargestellte Form sich besser eignet. — **11.** Wv. Grad C sind $+12^{\circ}$, $+17^{\circ}$, $+25^{\circ}$ und $-12^{\circ}$, $-17^{\circ}$, $-25^{\circ}$ R? — **12.** Wv. Grad R sind $+20^{\circ}$, $+33^{\circ}$, $+49^{\circ}$ und $-20^{\circ}$, $-33^{\circ}$, $-49^{\circ}$ C?

**§ 59. Ausdehnung durch Wärme.** Das Steigen und Fallen des Quecksilbers im Thermometer führt zu dem Schlusse, daß sich Quecksilber durch Erwärmung ausdehnt und durch Abkühlung zusammenzieht. Dieser Schluß kann allerdings nur dann richtig sein, wenn der gefäßförmig erweiterte Teil des Thermometers durch Erwärmung nicht enger und durch Abkühlung nicht weiter wird,

was der Fall sein müßte, wenn sich Glas durch Erwärmung zusammenzöge und durch Abkühlung ausdehnte. Daß letzteres aber nicht geschieht, läßt sich schon bei geringer Erwärmung sehr deutlich an einem thermometerartig eingerichteten Apparate (Fig. 204) erkennen, dessen gefäßförmiger Teil bedeutend weiter ist, als die Kugel eines Thermometers. Wird nämlich das Gefäß ganz mit kaltem Wasser gefüllt, und dann schnell in heißes Wasser getaucht, so sinkt zunächst das Wasser in der Röhre, weil das Glas sich ausdehnt; darauf steigt das Wasser wieder infolge seiner eigenen Ausdehnung. Auch andere Flüssigkeiten dehnen sich beim Erwärmen aus, Petroleum und Spiritus z. B. viel stärker als Wasser.

Fig. 202.



Daß sich Glas ausdehnt, ist an einer Glasröhre leicht erkennbar, da sie sich nach oben krümmt, wenn man sie an einem Ende wagerecht befestigt und von unten erhitzt (Fig. 202).

Die ausdehnende Wirkung der Wärme auf feste Körper giebt sich namentlich an den Metallen zu erkennen. So erscheinen z. B. Telegraphendrähte im heißen Sommer weniger straff angezogen als bei starker Kälte; glühende Plättbolzen klemmen sich in ihren Höhlungen, wenn sie im kalten Zustande nicht genug Spielraum haben; eiserne Reifen, die glühend um Räder gelegt wurden, schließen nach dem Erkalten fest an. Wie wird sich hiernach eine Metallkugel (Fig. 203) gegen einen Metallring verhalten, durch den sie bei gewöhnlicher Temperatur eben hindurchfallen kann, wenn a. die Kugel, b. der Ring stark erhitzt wird?

Fig. 203.

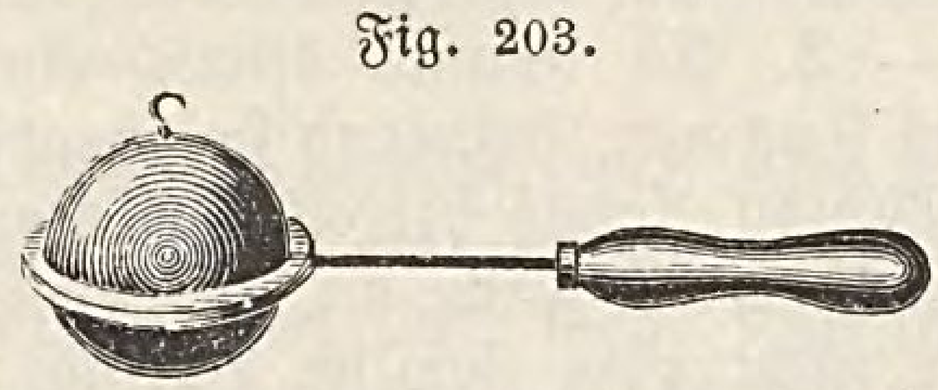
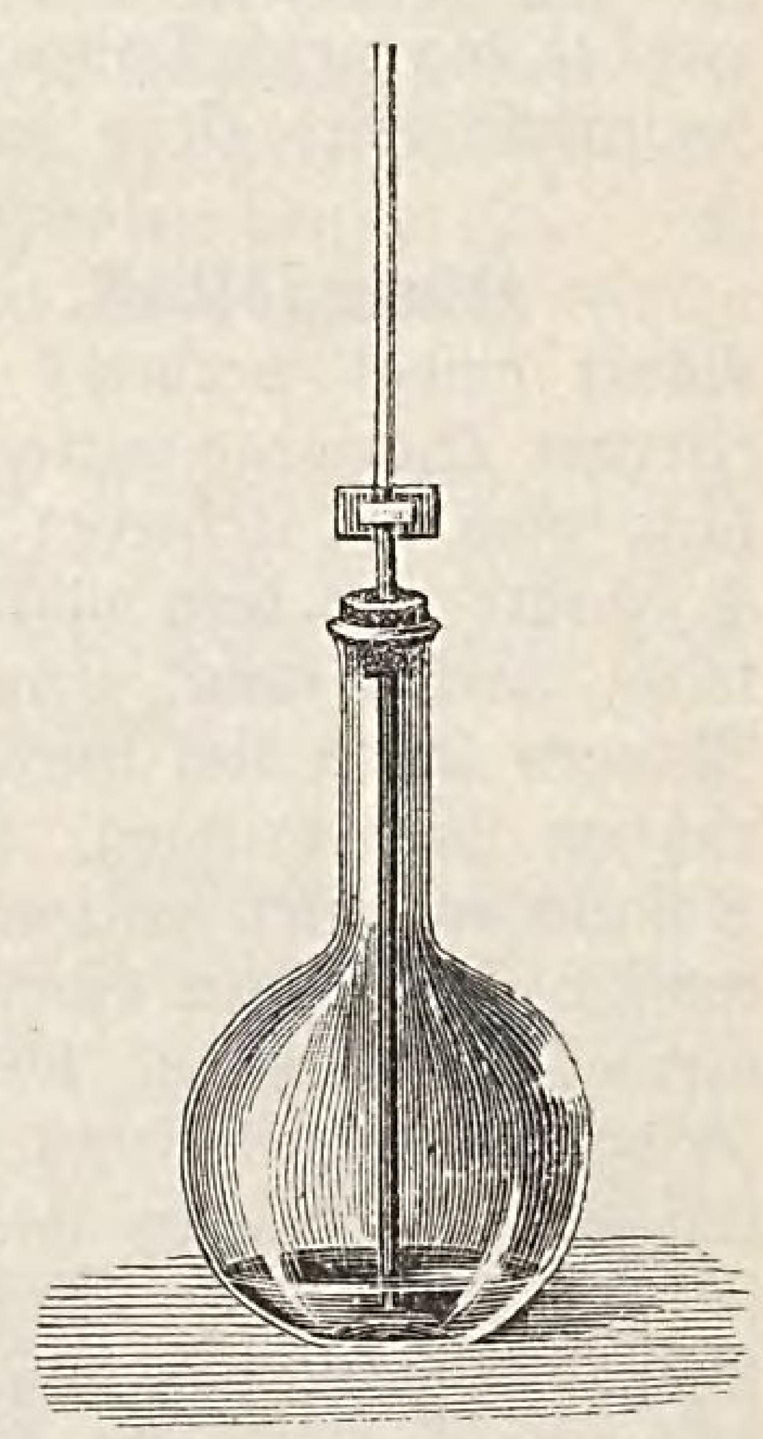


Fig. 204.



Wie sehr luftförmige Körper ihren Rauminhalt durch Wärme ändern, lehrt z. B. die bekannte Erscheinung, daß sich mit Luft gefüllte Blasen auf dem warmen Ofen stark aufblähen. Die Ausdehnung der Luft tritt noch auffälliger an einem **Thermoskop** oder Wärmeanzeiger (Fig. 204) hervor, dessen Gefäß etwas gefärbtes Wasser enthält, das bei Erwärmung in der Röhre emporsteigt.

Da alle festen, flüssigen und luftförmigen Körper im allgemeinen die angegebenen Erscheinungen zeigen, so gilt der Satz:

Der Rauminhalt der Körper ist veränderlich. Nimmt ein Körper Wärme auf, so wird im allgemeinen nicht nur seine Temperatur erhöht, sondern auch sein Rauminhalt vergrößert. — Bei gleicher Temperaturerhöhung dehnen sich die luftförmigen Körper stärker aus als die flüssigen, und diese stärker als die festen Körper.

Die Temperaturerhöhung und die Ausdehnung sind demnach zwei Hauptwirkungen der Wärme.

Die festen und flüssigen Körper dehnen sich im allgemeinen unregelmäßig aus, und zwar erstere namentlich bei hohen Temperaturen (100°), letztere bei allen Tem-

peraturen. Quecksilber macht hiervon eine Ausnahme. Da es sich zwischen 0 und 100° regelmäßig ausdehnt, so ist es zur Füllung von Thermometern sehr geeignet.

Von den häufig verwendeten Metallen strecken sich 1 m lange Stäbe um 1 bis 3 mm, wenn man sie von 0 bis 100° erwärmt, und zwar Eisen und Stahl am wenigsten, Zink am meisten. Glas dehnt sich nicht so stark aus als die Metalle. Feuchtes Holz, Thon u. dgl. schwinden bei der Erwärmung, ziehen sich also scheinbar zusammen. Dies erklärt sich daraus, daß das in ihnen enthaltene Wasser verdunstet.

Alle luftförmigen Körper dehnen sich fast ganz gleichmäßig aus und zwar etwa um $\frac{1}{3}$ ihres Rauminhaltes, wenn sie um 100° erwärmt werden.

Im praktischen Leben muß vielfach auf die ausdehnende Wirkung der Wärme Rücksicht genommen werden. Zwischen Eisenbahnschienen, den Flügeln eiserner Thüren und Fenster, eingemauerten Kesseln und dem Gemäuer, den eisernen Ringen in den Platten von Kochherden u. s. w. wird wegen des Einflusses der Wärme ein Spielraum gelassen, desgl. bei der Befestigung von Dachrinnen, Blitzableitern, Kupfer- oder Zinkplatten auf Dächern. Gläser zerspringen leicht bei schneller Erhitzung. Kochtöpfe, die bis an den Rand mit kaltem W. gefüllt sind, fließen auf dem Feuer über. Von Flaschen mit kohlensäurehaltigen Getränken springen im warmen Zimmer die Stöpsel leicht ab, u. s. w.

Die ausdehnende Wirkung der Wärme übt einen Einfluß auf den **Gang der Uhren** aus. Da nämlich ein Pendel um so langsamer schwingt, je länger es ist, so muß jede Temperaturerhöhung, wenn nicht besondere Einrichtungen getroffen sind, ein Zurückbleiben, jede Temperaturerniedrigung ein Vorlaufen der Uhr zur Folge haben. Bei den sog. Regulatoren unserer Wohnzimmer wird diese Ungenauigkeit im Gange dadurch sehr beschränkt, daß man zur Pendelstange nicht Metall, sondern eine Holzart verwendet, die durch Temperaturschwankungen und durch Feuchtigkeitswechsel nur äußerst wenig beeinflußt wird (sehr trockenes, mit Öl getränktes Fichtenholz).

---

**Übungsstoff.** 1. Warum werden eiserne Reifen glühend gemacht, ehe sie um die Räder gelegt werden? — 2. Es kommt öfters vor, daß sich die Flügelthüren großer eiserner Thorwege mittags klemmen, während sie abends gut schließen. Erkl.! — 3. Warum kann dies bei kleineren Thüren, sowie bei eisernen Fenstern nicht so leicht vorkommen? — 4. Führe aus dem täglichen Leben Fälle an, in denen die Ausdehnung durch Wärme nachteilig wirken kann, wenn nicht eine gewisse Vorsicht angewandt wird! — 5. Geborstene Mauern lassen sich mittelst stark erhitzter und dann abgekühlter Eisenstangen wieder in ihre richtige Lage bringen. Erkl.! — 6. Lampencylinder und Glasflaschen lassen sich mit einer Schnur an einer bestimmten Stelle leicht stark erhitzen und dann absprengen, indem die erhitzte Stelle mit einer angefeuchteten Fingerspitze berührt wird. Wie erklären sich die hierbei stattfindenden Vorgänge? — 7. Dickwandige Flaschen, Gläser, Lampencylinder u. s. w. zerspringen beim Erhitzen viel leichter als dünnwandige. Erkl.! (Wandstärke von Kochflaschen!) — 8. An welcher Stelle muß die Wand eines Lampencylinders am dünnsten sein, u. w.? — 9. Eingeschliffene und festsitzende Glasstöpsel lassen sich durch Erwärmen lösen. Wie ist dies auszuführen? — 10. Was wird eintreten, wenn man einen Heronsball erwärmt? — 11. Ein Heronsball soll mit W. gefüllt werden, ohne daß er geöffnet wird. Wie ist dies möglich? (Füllen von Thermometer-Röhren.) — 12. In emaillierten Kochtöpfen springt der glasartige Überzug leicht ab, wenn die Töpfe leer aufs Feuer gestellt werden. Grund! — 13. Worin mag es seinen Grund haben, daß hölzerne Fensterflügel im Sommer im allgemeinen weniger dicht schließen als im Winter, obgleich Wärme die K. ausdehnt? — 14. Zur Anfertigung bauchiger Fässer werden die Stäbe (Dauben) auswendig angefeuchtet und innen erwärmt; w.?

---

**§ 60. Abweichendes Verhalten des Wassers.** Wenn man ein nach Fig. 204 eingerichtetes Gefäß ganz mit Wasser füllt und darauf allmählich abkühlt, so verkürzt sich der Flüssigkeitsfaden in der Röhre nicht bis 0°, wie man eigentlich erwarten sollte, sondern er verlängert sich wieder, wenn das Wasser nahezu diese Temperatur erreicht hat. Das Wasser macht also von der allgemeinen Regel, daß sich ein Körper bei abnehmender Temperatur zusammenzieht, insofern eine Ausnahme, als es in der Nähe seines Gefrierpunktes diese Regel nicht mehr befolgt. Genaue Versuche haben ergeben:

Wasser hat seine größte Dichtigkeit bei etwa + 4° C. Beim Gefrieren dehnt es sich aus.

Bei 8° C ist die Dichte des Wassers ziemlich genau so groß wie bei 0°. — Diese Eigenschaft hat jedoch nur das Süßwasser. Meerwasser zieht sich bis zu seinem Gefrierpunkte stetig zusammen. Die Ausdehnung des Wassers beim Gefrieren ist so beträchtlich, daß 10 ccm Wasser ungefähr 11 ccm Eis bilden und umgekehrt.

Das abweichende Verhalten des Wassers ist im Haushalte der Natur von großer Bedeutung, indem dadurch im Winter beim Erkalten der Gewässer ein tiefes Eindringen der Kälte verhindert und die Eisbildung wesentlich beschränkt wird. Die im Süßwasser lebenden Geschöpfe sind somit vor dem Erfrieren geschützt. Wenn sich nämlich bei Beginn des Winters die Gewässer von oben abkühlen, so sinken die oberen, kälter gewordenen Schichten des Wassers infolge ihrer größeren Dichtigkeit nach unten und wärmere treten von unten an ihre Stelle. Dies setzt sich solange fort, bis die ganze Wassermasse eine Temperatur von + 4° C erreicht hat. Von da ab können die Temperaturunterschiede sich nicht mehr durch Strömung ausgleichen, denn die oberen Schichten des Wassers dehnen sich bei weiterer Abkühlung wieder aus und können deshalb nicht untersinken. Da ferner auch das an der Oberfläche entstehende Eis, weil es leichter ist als Wasser, nicht untersinken kann und wegen der geringen Leitungsfähigkeit des Wassers eine merkliche Abkühlung durch Leitung ebenfalls unmöglich ist, so vermag sich bei stehenden Gewässern in der Tiefe kein Eis zu bilden.

In Flüssen dagegen gelangt das bis auf 0° abgekühlte Wasser durch die Strömung leicht nach unten. Kommt es hier mit dem Grunde des Flußbettes in Berührung, so überziehen sich die dort befindlichen festen Körper nach genügender Abkühlung mit Eis. Solches Eis bezeichnet man als Grundeis. Ist das Grundeis zu größeren Massen angewachsen, so reißt es sich durch den Auftrieb los. Auf größeren Flüssen häufen sich solche Eisstücke, bis sie untereinander und mit den am Ufer entstandenen Eise zusammenfrieren und eine zusammenhängende Eisdecke bilden.

Durch die Ausdehnung des Wassers beim Gefrieren wird die Verwitterung der Gesteine befördert, indem das in die Spalten eingedrungene Wasser beim Gefrieren das Gestein lockert und dadurch der atmosphärischen Luft mehr Zutritt verschafft. Dieser Vorgang ist sehr wichtig für die Entstehung und Lockerung des Ackerbodens.

---

**Übungsstoff.** 1. Ein Thermometer enthalte W. statt Qu. Welcher Temperaturgrad müßte auf demselben am tiefsten stehen, wenn die Thermometerkugel ihren Rauminhalt nicht änderte, u. w.? — 2. Welches würde die tiefste Temp. sein, die sich mit einem solchen Therm. bestimmen ließe? — 3. Zur Bestimmung sehr niedriger Temperaturen werden Weingeist-Therm. angewandt; w.? (§ 61.) — 4. Wie ist es zu erklären, daß sich bei stillstehenden Gewässern das Eis nur an der Oberfläche, bei großen, fließenden Gewässern aber auch am Grunde bildet? — 5. Bei Tauwetter sind die Wege häufig stark aufgelockert. Erkl.! — 6. Das Durchfrieren des Ackerbodens befördert den höchst wichtigen Zutritt der Luft; inwiefern? — 7. Öl gefriert bei genügender Abkühlung durch seine ganze Masse hindurch ziemlich gleichmäßig. In welcher Beziehung muß danach die Veränderung des Rauminhaltes zur Abnahme der Temp. stehen? — 8. Warum kann Grundeis erst dann aufsteigen, wenn es sich in größerer Menge gebildet hat? — 9. Welche Kräfte wirken dabei einander entgegen? — 10. Kleine, flache Gewässer frieren leicht ganz aus. Warum kann dies bei tiefen Gewässern selbst bei lange anhaltendem Froste nicht eintreten? — 11. Angenommen, Eis sei schwerer als W.; wo würde sich dann in einem Gewässer alles gebildete Eis ansammeln, und welchen Einfluß würde dies bei lange anhaltendem Froste auf die Menge des entstehenden Eises ausüben? — 12. Wie kann man die Ausdehnung des W. beim Gefrieren benutzen, um Felsen zu sprengen? (Wasserflaschen, Regenfässer.)

---

**§ 61. Änderung der Aggregatzustände.** Eis und Schnee verwandelt sich in Wasser, dieses umgekehrt wieder in Eis und Schnee. Metalle, Glas u. s. w. lassen sich im Feuer erweichen und verflüssigen, durch genügende Abkühlung dagegen wieder in feste Körper verwandeln u. s. w. Solche Veränderungen

der Körper erfolgen, wie die Erfahrung lehrt, bei sehr verschiedenen Temperaturen. So schmilzt z. B. Blei leichter als Eisen, aber schwerer als Wachs, dieses wieder schwerer als Eis oder Schnee u. s. w. Auch Änderungen des Rauminhaltes treten beim Schmelzen ein. Während aber die meisten Körper, z. B. Blei, Glas, Wachs u. a. beim Schmelzen sich ausdehnen (die festen Teile sinken in der geschmolzenen Masse unter), zieht sich Eis beim Schmelzen zusammen (Eis schwimmt auf Wasser, § 60).

Durch genügende Erwärmung werden feste Körper flüssig; durch genügende Abkühlung werden flüssige Körper fest. Für jeden schmelzbaren Körper giebt es eine bestimmte Temperatur, bei der er schmilzt: **Schmelzpunkt.** Bei derselben Temperatur wird in der Regel der flüssige Körper wieder fest.

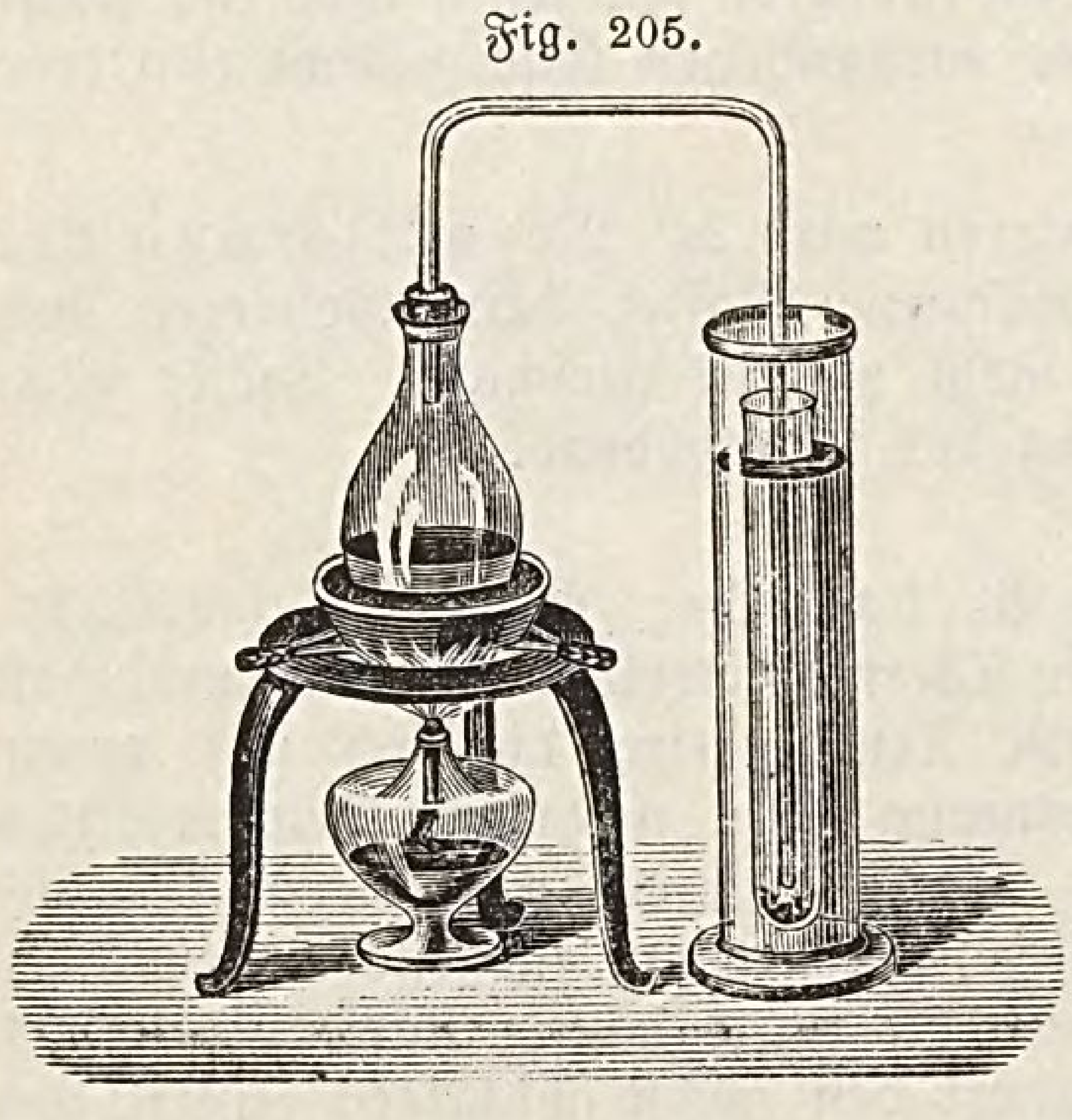
Beim Schmelzen dehnen sich die meisten Körper aus, beim Erstarren ziehen sie sich zusammen.

Die Änderung des Aggregatzustandes ist die dritte Hauptwirkung der Wärme.

Außer dem Wasser macht auch das Gußeisen eine Ausnahme von der angeführten Regel, indem es sich ebenfalls beim Erstarren ausdehnt.

Eis schmilzt bei 0°, Stearin und Wachs bei ungefähr +70°, Blei bei 300°, Silber und Kupfer bei ungefähr 1000°, Gold bei 1200°, Eisen bei 1200 bis 1500° C. — Meerwasser gefriert wegen seines Salzgehaltes erst bei etwa —2,5° C. Weingeist kann bis zu 100° C abgekühlt werden, ohne zu gefrieren. Quecksilber gefriert bei —40° C.

Fig. 205.



Im Sommer machen wir häufig die Wahrnehmung, daß nasse Wege staubig werden, Bäche und Gräben unter dem Einflusse der Sonnenwärme austrocknen u. s. w. Dies erfolgt um so schneller, je wärmer und trockener die Luft ist. Steht ein offenes Gefäß mit Wasser oder einer anderen Flüssigkeit längere Zeit etwa im warmen Ofen, so nimmt die Flüssigkeit immer mehr ab und verschwindet endlich ganz. — Durch geeignete Versuche (nach Fig. 205) läßt sich nachweisen, daß sich ein flüssiger Körper durch Wärme in Dampf verwandelt, aus dem bei genügender Abkühlung die ursprüngliche Flüssigkeit wieder entsteht.

Durch Wärme werden flüssige Körper dampfförmig; durch genügende Abkühlung werden Dämpfe wieder tropfbar flüssig.

Die Verdichtung von Dampf zu Flüssigkeit heißt Kondensation. — Wasser, das durch Abkühlung von Wasserdämpfen hergestellt worden ist (siehe Fig. 205), nennt man destilliertes Wasser.

Bilden sich Dämpfe nur an der Oberfläche der Flüssigkeit, so nennt man den Vorgang **Verdunsten;** entstehen sowohl an der Oberfläche, als auch im Innern der Flüssigkeit unter lebhafter Blasenbildung Dämpfe, so wird die Erscheinung **Sieden** genannt. — Es gilt ferner der Satz:

Jede Flüssigkeit siedet bei einer bestimmten Temperatur: **Siedepunkt;** solange diese nicht erreicht ist, findet nur eine Verdunstung statt.

Wasser siedet bei 100°, Leinöl bei ungefähr 300°, Quecksilber bei 350° C.

Die Verdunstung erfolgt um so schneller, je höher die Temperatur ist, und je weniger Dämpfe die Luft enthält; sie hängt außerdem von der Natur der Flüssigkeit ab. So verdunstet z. B. Spiritus (Weingeist) schneller als Wasser, Benzin und Äther noch schneller. Auch bei Temperaturen unter 0° kann noch eine Verdunstung stattfinden. Eis z. B. verdunstet bei trockener Luft, denn mit Eis oder Schnee bedeckte Wege werden bei anhaltend trockenem Froste staubig. Feuchte Wäsche wird auch bei Frostwetter trocken, wenngleich langsamer als sonst.

---

**Übungsstoff.** 1. Welcher Unterschied besteht zwischen Meer- und Flußwasser in betreff des Gefrierens? — 2. Was schmilzt leichter: Gold oder Silber? — 3. Welches Metall schmilzt leichter als Gold, aber schwerer als Blei? — 4. Nenne einen Stoff, der in kochendem W. schmilzt. — 5. Sind Wasserdämpfe sichtbar oder unsichtbar? — 6. Warum müssen Flaschen, welche Spiritus oder Benzin enthalten, dicht verkorkt werden? — 7. Um gefrorene Früchte (Kartoffeln, Äpfel) wieder genießbar zu machen, wirft man sie in sehr kaltes W. Hierin überziehen sie sich mit einer Eiskruste, die allmählich wieder schmilzt. Wie läßt sich dies erklären? — 8. Das freie Ende des Dochtes einer Spirituslampe muß nach dem Gebrauche mit einem Glas- oder Blechhütchen überdeckt werden; geschieht dies nicht, so bleibt der Docht zwar feucht, er ist aber um so schwerer zu entzünden, je länger die Lampe offen gestanden hat. Erkl.! (Spiritus besteht aus W. und Weingeist, nur letzterer ist brennbar.) — 9. Wann sagt man, Speisen seien eingekocht? Erkläre den Vorgang! — 10. Führe Beispiele an, welche zeigen, daß die Stärke der Verdunstung einer Flgk. von der Temp. abhängt. — 11. Nach einem Regen trocknet Wäsche weit langsamer als sonst. Grund! — 12. Desgl. bei ruhiger Luft langsamer als bei Wind; w.? — 13. Beim Atmen werden Wasserdämpfe mit ausgeschieden. Wie erklärt sich hiernach die Entstehung des Fensterschweißes in bewohnten Zimmern? — 14. Wann ist unser Atem sichtbar, und wann nicht? — 15. Eine Mischung von W. und Weingeist werde erhitzt; welche von beiden Flgkn. wird am schnellsten verdampfen, u. w.? — 16. Angenommen, es würden diese Dämpfe aufgefangen und durch Abkühlung wieder flüssig gemacht (Destillation); wie würde sich dann der Gehalt dieses Gemisches an Weingeist zu dem des anfänglichen Gemisches verhalten? — 17. Wie läßt sich aus Salzsole das darin aufgelöste Salz, aus einer Zuckerlösung fester Zucker gewinnen?

---

**§ 62*. Veränderlichkeit des Siedepunktes.** Wird Wasser in einem Gefäße, in dem ein Kolben leicht bewegt werden kann (Fig. 206), bis zum Sieden erhitzt, so treiben die Dämpfe den Kolben in die Höhe. Taucht man darauf das Gefäß in kaltes Wasser, so treibt die Luft den Kolben wieder zurück. Dämpfe von kochendem Wasser vermögen somit den Druck der Luft zu überwinden; durch Abkühlung nimmt die Spannung der Dämpfe wieder ab. — Zieht man den Kolben schnell in die Höhe, ehe das Wasser die Siedetemperatur ganz erreicht hat, so fängt es schon bei einer tieferen Temperatur an zu sieden.

Fig. 206.

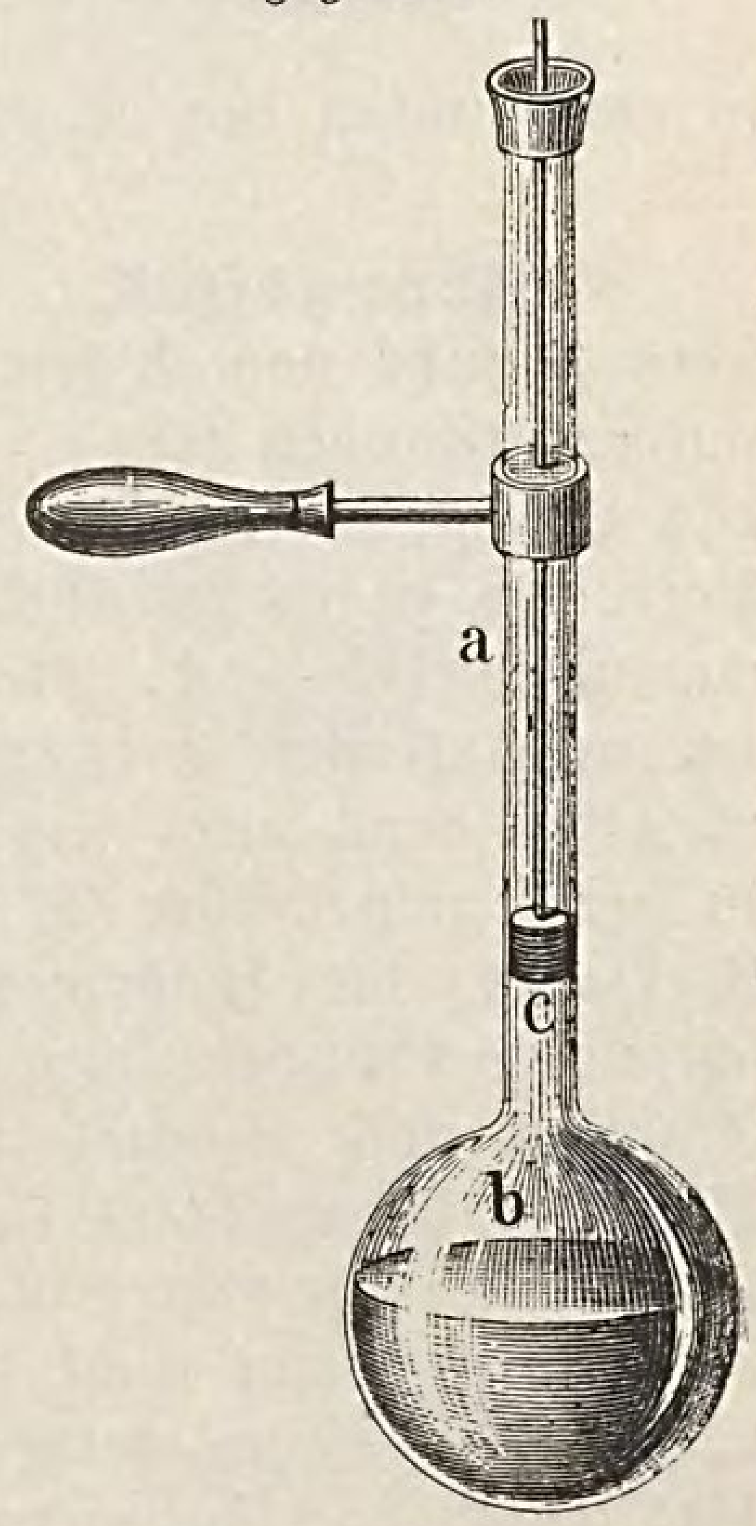
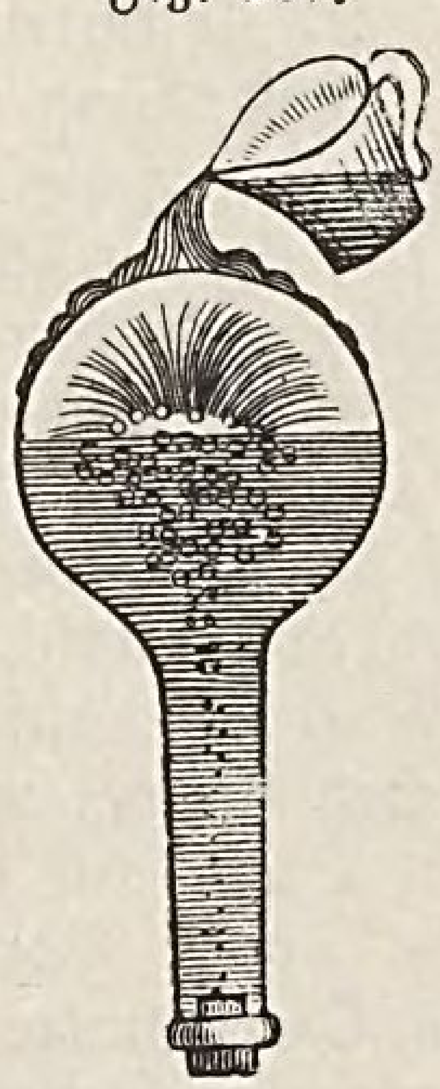



Fig. 207.



Dieselbe Erscheinung läßt sich auch unter dem Recipienten einer Luftpumpe durch Verdünnung der Luft hervorrufen, ferner auch dadurch, daß man durch längeres Kochen des in einem Gefäße enthaltenen Wassers die Luft entfernt, darauf das Gefäß luftdicht verschließt und, nachdem man es umgekehrt hat, seinen Boden durch Begießen mit kaltem Wasser abkühlt, so daß sich die Dämpfe verdichten und an Spannung verlieren (Fig. 207). — Wird dagegen während der Erhitzung des Wassers der Austritt der Dämpfe verhindert, so daß ihr Druck immer mehr zunimmt (z. B. durch Belastung des Deckels der Kochtöpfe, oder in

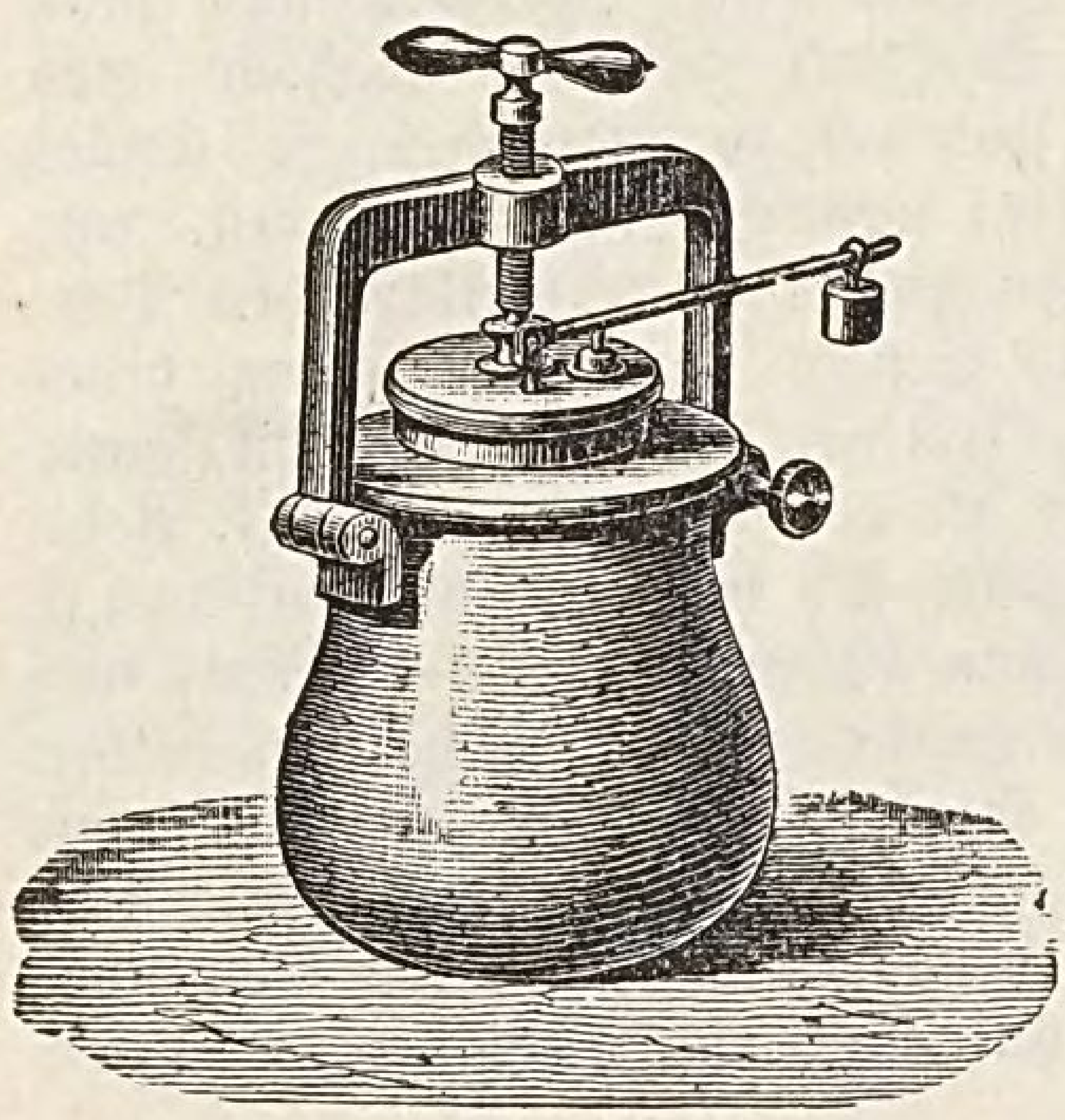
den Dampfkesseln der Dampfmaschinen dadurch, daß man die Dämpfe vor ihrem Austritte einen Kolben treiben läßt), so nimmt das Wasser eine höhere Temperatur an, ehe es siedet. Hieraus folgt:

Der **Siedepunkt** einer Flüssigkeit hängt nicht allein von der Natur der Flüssigkeit, sondern auch von der Größe des äußeren Druckes ab. Nimmt der äußere Druck ab, so sinkt der Siedepunkt; nimmt er zu, so steigt derselbe.

In offenen Gefäßen siedet eine Flüssigkeit, wenn die Spannung ihrer Dämpfe dem Luftdrucke gleich ist.

Bem. Ist vom Siedepunkte einer Flüssigkeit schlechthin die Rede (§ 61) so ist stets die Temperatur gemeint, bei der die Flüssigkeit unter dem gewöhnlichen Luftdrucke in offenen Gefäßen siedet.

Fig. 208.

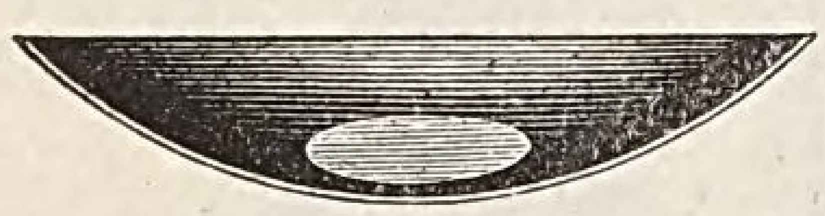


Auf hohen Bergen siedet Wasser infolge des geringen Luftdruckes in offenen Gefäßen schon unter 100° C, z. B. im Hospize auf dem St. Bernhard (in 2500 m Höhe) bei ungefähr 92° C.

Um Wasser stärker als gewöhnlich zu erhitzen, wendet man in Küchen Papinsche Töpfe oder Sparkochtöpfe an (Fig. 208), d. h. dickwandige, eiserne Kochgefäße, die ganz verschlossen werden können und des großen Dampfdruckes wegen mit einem Sicherheitsventil versehen sind. Sie wurden um die Mitte des 17. Jahrhunderts von Papin in Marburg erfunden. An sehr hochgelegenen Orten sind solche Kochgefäße schon für die gewöhnlichen Zwecke der Haushaltung unentbehrlich.

Durch Zusatz von Salz wird der Siedepunkt einer Flüssigkeit ein wenig erhöht. — Geringe Flüssigkeitsmengen nehmen auf stark erhitzter Unterlage eine tropfenähnliche Gestalt an (Leidenfrostsche Tropfen, Fig. 209); ihre Temperatur bleibt dabei unter dem Siedepunkte, da sie durch eine Dampfschicht gegen die Hitze geschützt sind. Läßt man die Unterlage genügend abkühlen, so verdampfen die Tropfen mit heftigem Zischen. (Wassertropfen auf der heißen Herdplatte.)

Fig. 209.



---

**Übungsstoff.** **1.** Es ist eine sehr verbreitete Meinung, daß zum Sieden des W. stets Zufuhr von Wärme nötig sei. Warum ist dies ein Irrtum, und wie mag diese Meinung entstanden sein? — **2.** Je kälter das Kühlwasser (Fig. 207) ist, desto lebhafter siedet das W. in der Flasche. (Anwendung von Schnee.) Erkl.! — **3.** Bei der Ausführung des Versuches ist es zweckmäßig, den Hals der Flasche nach dem Verschließen in W. zu tauchen; warum wohl? — **4.** Wie löst sich der scheinbare Widerspruch, der zwischen der durch Fig. 207 veranschaulichten Erscheinung und dem Sieden in offenen Gefäßen besteht? — **5.** Wenn man bei dem durch Fig. 205 veranschaulichten Versuche die Flamme entfernt, nachdem sich in der Probierröhre W. angesammelt hat, so strömt das W. in die Flasche zurück. Erkl.! — **6.** Besteht die U förmige Röhre (Fig. 205) aus 2 Teilen, die durch einen kurzen Gummischlauch verbunden sind, so kann man leicht bewirken, daß das W. nach Entfernung der Flamme noch einmal zu kochen anfängt. Wie hat man zu verfahren? — **7.** Welchen Vorteil muß es beim Kochen bieten, wenn man die Dämpfe etwa dadurch im Kochgefäße zurückhält, daß man einen Stein auf den Deckel legt? — **8.** Welche Gefahr ist aber damit verbunden, wenn nicht die nötige Vorsicht angewandt wird? — **9.** Wo ist ein Gewässer bei gleicher Temp. seinem Siedepunkte näher: auf einer Hochebene oder im Tieflande? — **10.** Unter den Recipienten einer Luftpumpe seien zwei Gefäße gestellt, von denen das eine mit W., das andere mit Weingeist gefüllt ist. Welche von beiden Flüssigkeiten wird bei Entfernung der Luft zuerst sieden, u. w.?

**§ 63*. Verbrauch und Erzeugung von Wärme bei der Änderung der Aggregatzustände.** Wenn Schnee oder Eis etwa über einer Flamme schmilzt, so ändert sich trotz der Aufnahme von Wärme die Temperatur der schmelzenden Masse nicht; erst nachdem alles Feste geschmolzen ist, steigt die Temperatur über den Schmelzpunkt. Kochendes Wasser kühlt sich durch Zusatz von Schnee oder Eis bedeutend stärker ab, als durch ebenso viel eiskaltes Wasser. Ähnliche Erscheinungen zeigen sich auch beim Schmelzen oder Auflösen von anderen festen Körpern. Mischt man z. B. Schnee mit Kochsalz, so schmelzen beide Körper und die Temperatur sinkt bis gegen —20° C (Kältemischung). Wird Glaubersalz, Soda oder Zucker schnell in Wasser aufgelöst, so kühlt sich die Mischung ab. In allen diesen Fällen verschwindet demnach Wärme, indem der feste Körper seinen Aggregatzustand ändert.

Fig. 210.



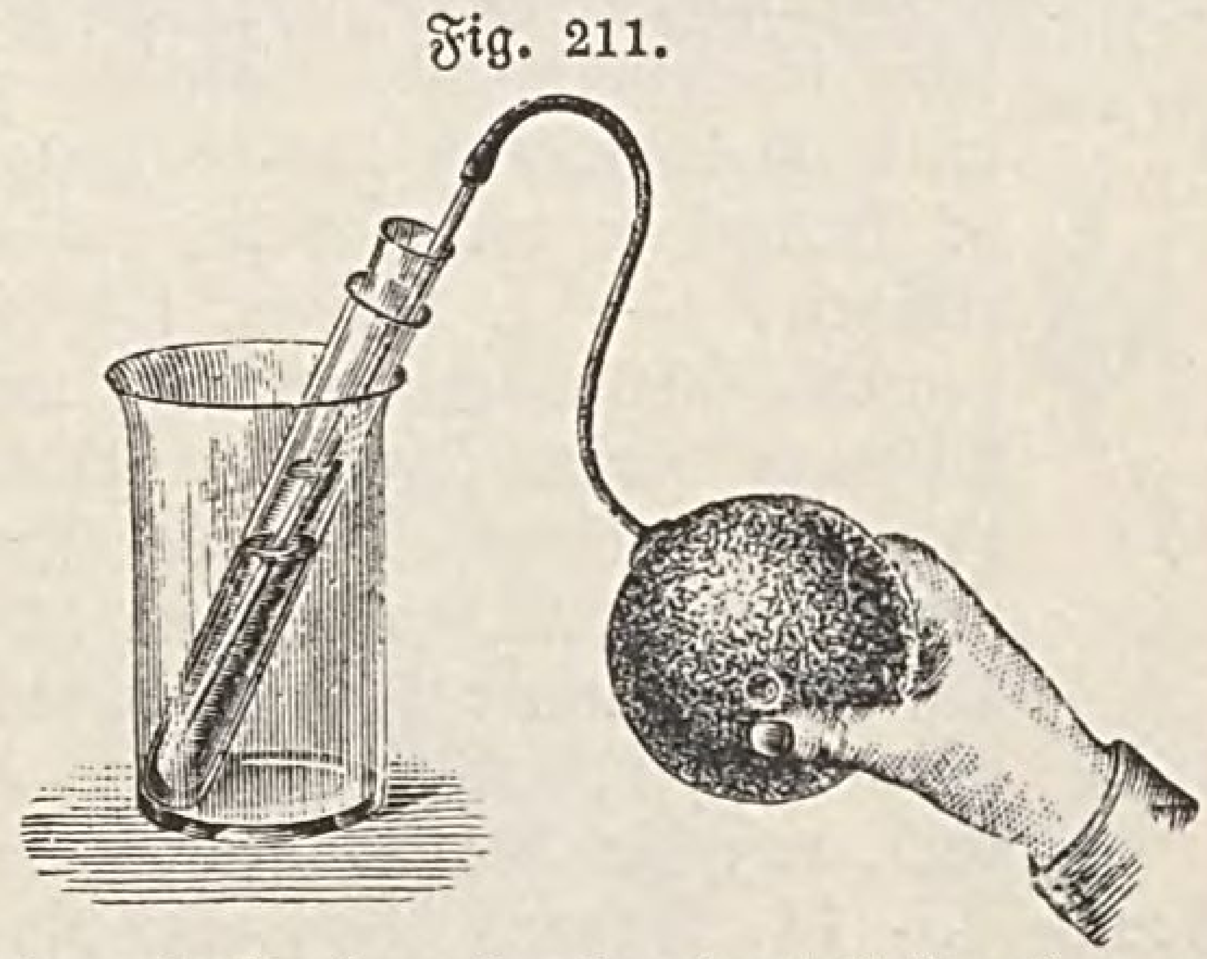
Läßt man umgekehrt einen in Wasser gelösten festen Körper (z. B. Glaubersalz oder geschmolzenes unterschwefligsaures Natron) dadurch plötzlich erstarren, daß man die Flüssigkeit zunächst ganz allmählich bis auf mehrere Grad unter ihre Erstarrungstemperatur abkühlt und dann ein Stückchen des festen Körpers hineinwirft, so steigt die Temperatur im Augenblicke des Erstarrens, wie mit einem Thermoskope leicht nachgewiesen werden kann (nach Fig. 210). Derartige Erscheinungen lehren:

Alle festen Körper verbrauchen Wärme, indem sie flüssig werden; alle flüssigen Körper erzeugen Wärme, indem sie fest werden.

Dadurch, daß Eis und Schnee beim Schmelzen viel Wärme verbrauchen und Wasser beim Gefrieren viel Wärme erzeugt, werden die Temperaturübergänge während der kalten Jahreszeit etwas gemildert. Ohne diesen großen Wärmeverbrauch würde ferner das Auftauen des Eises und Schnees bedeutend schneller erfolgen.

Steckt man zwei Probiergläschen (Fig. 211) ineinander, nachdem man in das weitere etwas kaltes Wasser gegossen, das engere dagegen etwa halb mit einer schnell verdunstenden Flüssigkeit (Äther) gefüllt hat, so gefriert das Wasser, wenn man die Verdampfung jener Flüssigkeit dadurch beschleunigt, daß man eine Zeitlang einen Luftstrom hindurchtreibt.

Fig. 211.



Werden die Dämpfe von kochendem Wasser (nach Anleitung von Fig. 205) in eine bestimmte Menge (etwa 200 ccm) kalten Wassers geleitet, so steigt die Temperatur des letzteren bald bis zum Sieden, während sie durch ebensoviel kochendes Wasser, als sich aus den verbrauchten Dämpfen gebildet hat, nur sehr wenig steigt. Die Dämpfe vermögen daher, indem sie wieder flüssig werden, bedeutend mehr Wärme abzugeben als das kochende Wasser. Ähnliche Erscheinungen zeigen alle Flüssigkeiten und Dämpfe.

Alle Flüssigkeiten verbrauchen Wärme, indem sie dampfförmig werden; alle Dämpfe erzeugen Wärme, indem sie flüssig werden.

Früher bezeichnete man die Wärme, die beim Schmelzen und Verdampfen verbraucht wird, als **gebundene Wärme**, indem man sich vorstellte, sie sei noch als (verborgene) Wärme

im Körper vorhanden; dementsprechend nannte man die beim Erstarren von Flüssigkeiten und bei der Kondensation von Dämpfen entstehende Wärme **freie Wärme.** Nach der gegenwärtigen Auffassung soll der Ausdruck „gebunden" nichts weiter bedeuten, als daß man diese Wärme nicht mit dem Thermometer nachweisen kann.

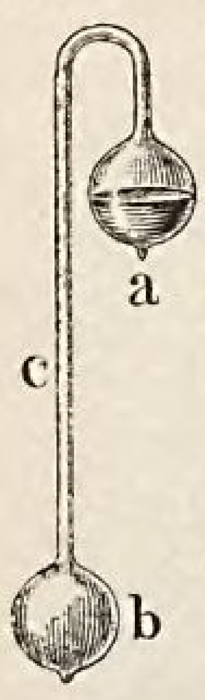
Wasser verbraucht, indem es dampfförmig wird, nahezu 8mal soviel Wärme, als eine gleiche Gewichtsmenge Eis beim Schmelzen verbraucht, wie auch umgekehrt Wasserdampf, indem er sich wieder in flüssiges Wasser verwandelt, nahezu 8mal soviel Wärme erzeugt, als durch eine gleiche Gewichtsmenge W. beim Gefrieren erzeugt wird. Dies ist im Haushalte der Natur nicht ohne Bedeutung. Die erwärmten Luftmassen, welche über den Meeren heißer Gegenden täglich aufsteigen, sind sehr reich an Wasserdämpfen, von denen ein großer Teil durch Winde kälteren Ländern zugeführt wird. Sobald diese Dämpfe Wolken bilden, verlieren sie ihre luftförmige Gestalt wieder und erzeugen Wärme. — Wasser ist auch von allen festen und flüssigen Körpern derjenige, der sich am schwersten erwärmt und abkühlt. Damit eine bestimmte Wassermenge um 1° wärmer werde, muß sie ungefähr 5mal soviel Wärme aufnehmen, als eine gleiche Gewichtsmenge trockener Erde zu derselben Temperaturerhöhung nötig hat, und mehr als 30mal soviel Wärme als eine gleiche Gewichtsmenge Blei.

Um Wärmemengen ähnlich wie die Gewichte der Körper in Zahlen ausdrücken zu können, bezeichnet man als eine **Wärmeeinheit** die Wärmemenge, welche 1 kg Wasser aufnimmt, wenn es um 1° C erwärmt wird.

---

**Übungsstoff.** 1. Welchen Einfluß muß es auf die Temp. eines Getränkes ausüben, wenn man Zucker darin auflöst? — 2. Was müßte erfolgen, wenn man den Zucker plötzlich wieder erstarren ließe? — 3. Um Obst in nicht frostfreien Räumen vor dem Gefrieren zu schützen, stellt man flache Schalen mit W. daneben. Wenn das W. gefriert, so kühlt sich die Luft in der Nähe der Schalen nicht so stark ab, als es sonst der Fall sein würde. Grund! — 4. Warum kann man heißes W. durch Schnee oder Eis stärker abkühlen, als durch ebensoviel kaltes W.? — 5. Wird sich gefrorener Boden durch die Sonnenstrahlen schneller erwärmen, wenn er vorher durchnäßt, oder wenn er trocken war? — 6. Ärzte wenden zur Abkühlung entzündeter Teile des menschlichen K. bisweilen Eis in der Weise an, daß sie wasserdichte, mit Eis gefüllte Beutel auf die erkrankten Stellen legen. Warum läßt sich durch eiskaltes W. nicht dasselbe erreichen? — 7. Man kann im warmen Ofen W. auf einen Teller gefrieren lassen, wenn man diesen auf einen anderen mit Schnee gefüllten Teller stellt. Erkl.! — 8. Warum ist es verschwenderisch, unter Kochtöpfen noch stärker nachzuheizen, wenn das W. bereits siedet? — 9. Wird beim Kochen in offenen oder in geschlossenen Gefäßen mehr Feuerung verbraucht, u. w.? — 10. Warum wird es bedeutend länger dauern, durch dieselbe Wärmequelle kochendes W. ganz in Dampf zu verwandeln, als eine gleiche Menge W. von 0° bis zum Sieden zu erhitzen? — 11. Warum läßt sich kaltes W. durch Dampf von kochendem W. bedeutend stärker erhitzen, als wenn man ebensoviel kochendes W. zugießt, als zur Bildung dieses Dampfes erforderlich war? — 12. Wird die untere der beiden Glaskugeln eines luftleeren Kryophors oder Eisträgers (Fig. 212) in eine Kältemischung gestellt, so gefriert leicht das in der oberen Kugel enthaltene W. Erkl.! — 13. Im Sommer lassen sich die Zimmer dadurch abkühlen, daß man den Fußboden wiederholt mit W. besprengt; W. läßt sich in Thonflaschen, die so locker gebrannt sind, daß die Wand durchfeuchtet wird, viel kühler halten als in gläsernen Flaschen. Grund! — 14. Dadurch, daß man einen benetzten Finger in die Luft hält, kann man leicht erfahren, woher der Wind kommt. Erkl.! — 15. Tropfen von W., Weingeist und Äther lassen sich auf der Hand durch das Gefühl unterscheiden. Erkl.!

Fig. 212.

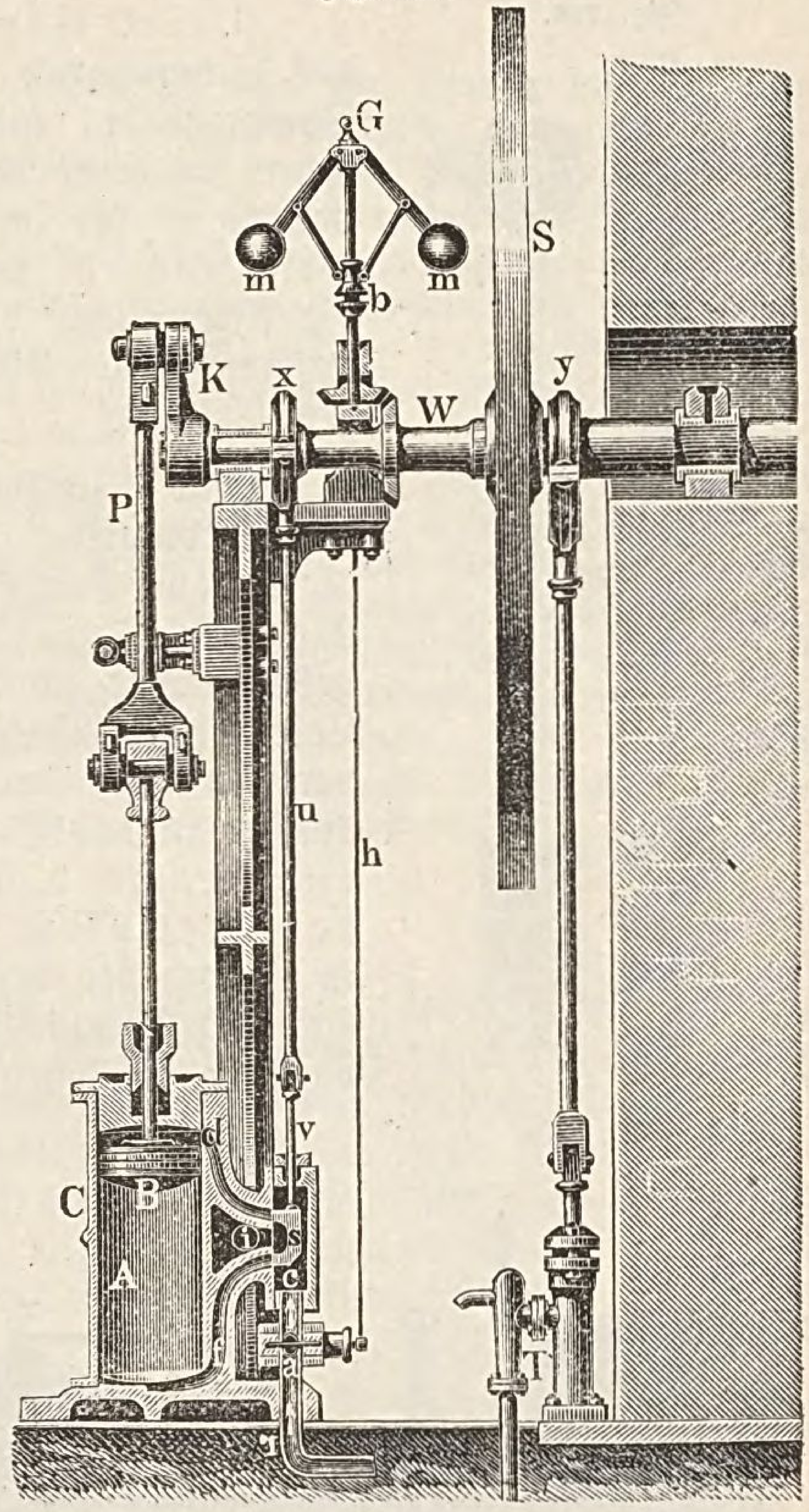



---

**§ 64*. Dampfmaschine.** Die durch Wärme erzeugte Spannkraft der Wasserdämpfe findet zum Betriebe von Maschinen als Ersatz für menschliche und tierische Arbeitskräfte eine höchst wichtige Anwendung. Dies wird seit etwa 100 Jahren in der Weise bewerkstelligt, daß man durch den Druck der Dämpfe eine Kolbenbewegung hervorruft, die sich auf die bewegbaren Teile der Maschine überträgt. — Die wesentlichen Teile einer **Dampfmaschine** sind:

1. Der *Dampfkessel*, in welchem durch Erhitzen von Wasser der Dampf erzeugt wird.

Fig. 213.




Der **Dampfkessel** besteht aus zusammengenieteten Platten von sehr starkem Eisenblech. Um einem übermäßigen Dampfdrucke vorzubeugen, ist jeder Dampfkessel mit einem Sicherheitsventil versehen (vergl. Fig. 208).

2. Der *Cylinder* (C) mit dem beweglichen Kolben (B).

Der **Cylinder** ist seitlich nahe an den Enden mit 2 Öffnungen versehen, von denen 2 Kanäle in die Dampfkammer (c) führen.

3. Die *Kurbel* (K), welche durch die *Pleuelstange* (P) mit der Kolbenstange gelenkartig verbunden ist, um die geradlinige Bewegung des Kolbens in eine drehende Bewegung zu verwandeln.

4. Die *Steuerung* vermittelt das abwechselnde Ein- und Austreten des Dampfes in den Cylinder. Ihre Hauptteile sind: der *Schieber* (s) und die auf der Kurbelwelle befestigte *excentrische Scheibe* (x), deren Mittelpunkt außerhalb der Achse der Welle liegt. Beide sind (ähnlich wie Kolben und Kurbel) durch eine Stange (h) gelenkartig verbunden.

Der **Schieber** bewegt sich in einem seitlich am Cylinder angebrachten Kasten (Schieberkasten oder Dampfkammer c, Fig. 213 bis 215), in den der Dampf zunächst eintritt. Hat der Schieber die in Fig. 214 angegebene Stellung, so kann durch den unteren Kanal frischer Dampf in den Cylinder eintreten, durch den oberen Kanal (d) dagegen der gebrauchte Dampf aus dem Cylinder austreten und durch eine in den Hohlraum des Schiebers mündende Röhre (i) nach außen gelangen. (Erkläre Fig. 215.) Die Hin- und Herbewegung des Schiebers wird durch die **excentrische Scheibe** (E, Fig. 216, folg. Seite) bewirkt, vermittelst welcher aus der drehenden Bewegung der Kurbelwelle die geradlinige Bewegung des Schiebers hergestellt wird. Zu diesem Zwecke ist die excentrische Scheibe mit einem Ringe (x) umgeben, an dem die nach dem Schieber führende Lenkstange (u) befestigt ist.

Fig. 214.

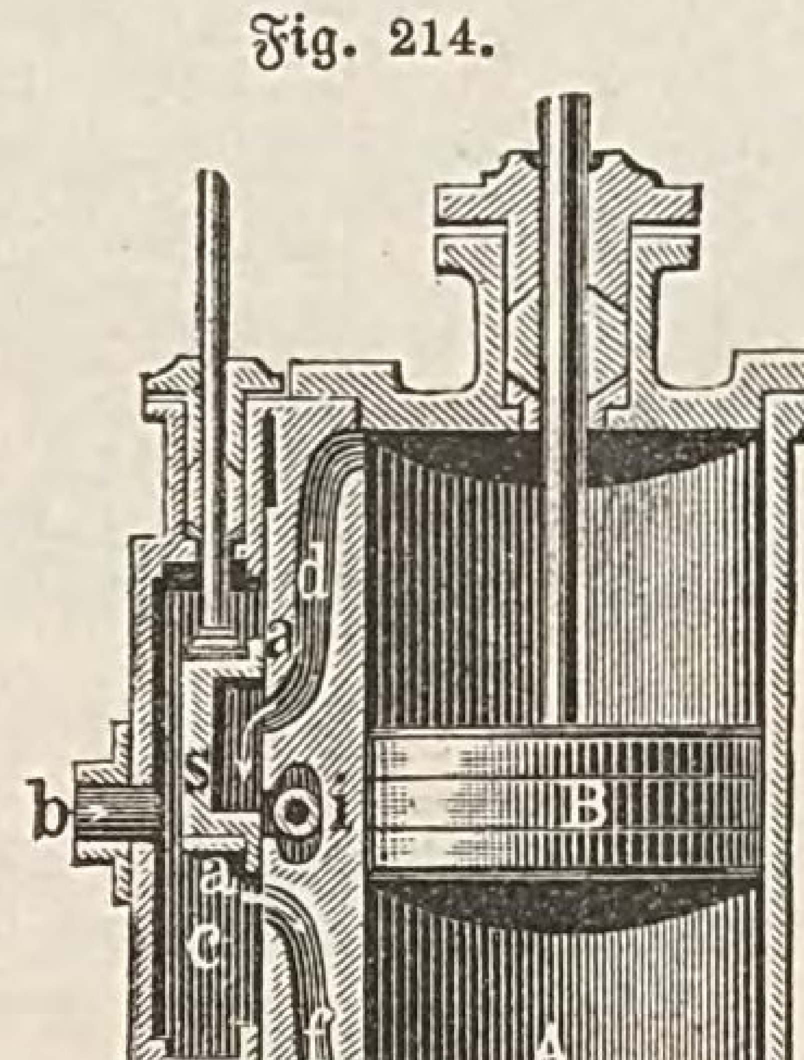
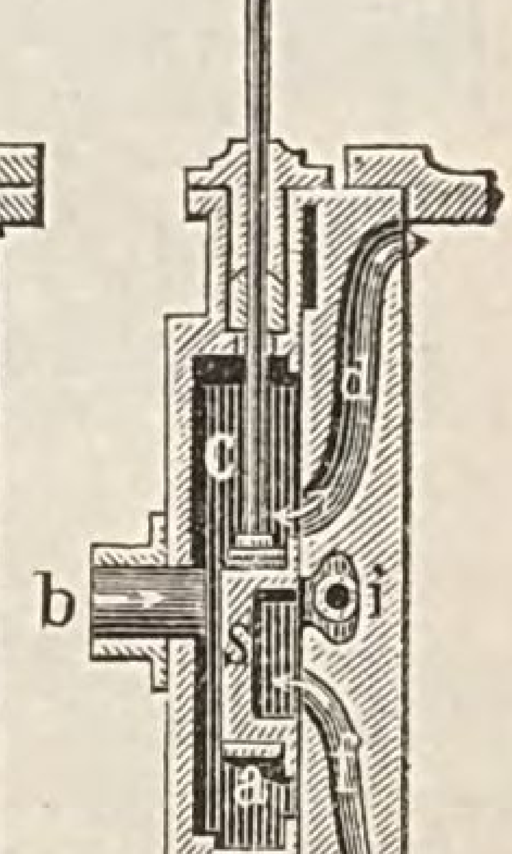



Fig. 215.

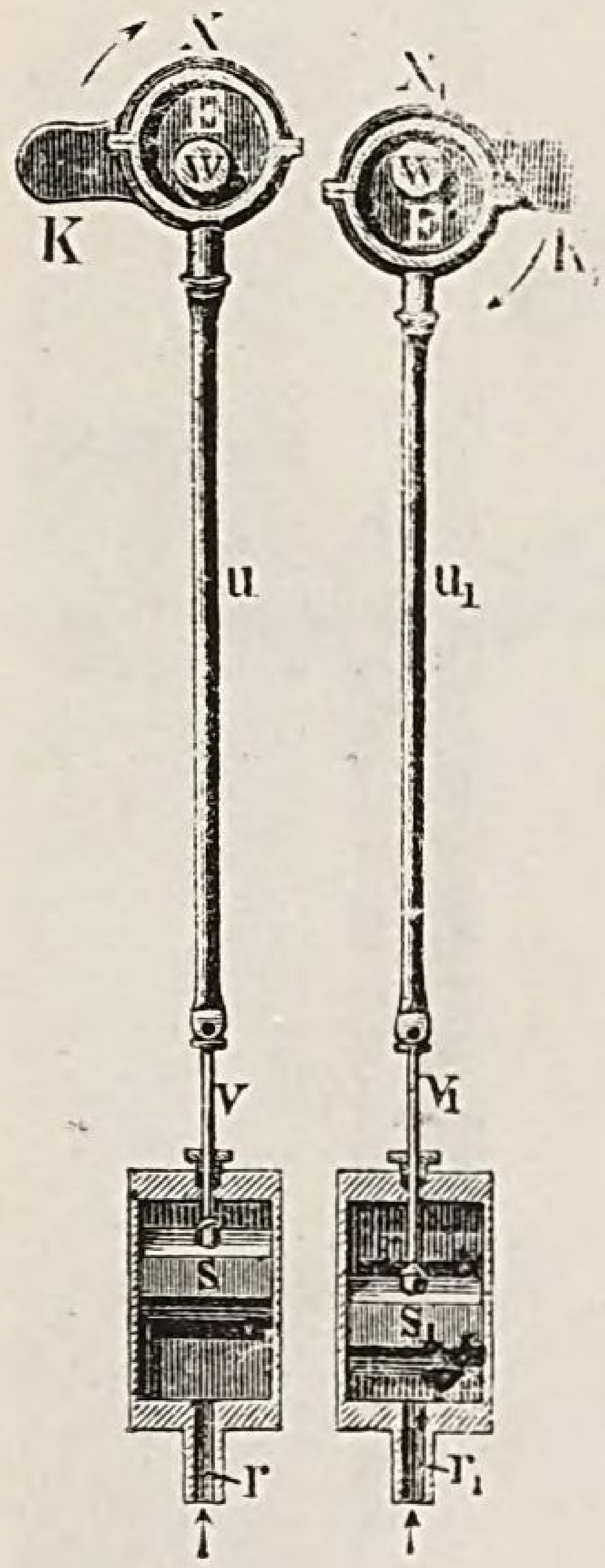



5. Das auf der Kurbelwelle befestigte *Schwungrad* (S), ein großes und schweres Rad, hat den Zweck, den Gang der Maschine gleichförmig zu machen.

Das **Schwungrad** dient 1) zur Überwindung der beiden *toten Punkte*, 2) dazu, die *Ungleichheiten* der Bewegung aufzuheben, die sich bei jeder Umdrehung der Kurbel aus den verschiedenen Stellungen ergeben, welche die Pleuelstange gegen die Kurbel einnimmt (vergl. Fig. 73). Außerdem trägt es 3) dazu bei, die *Unregelmäßigkeiten*

auszugleichen, welche durch die Zu- und Abnahme der Widerstände hervorgerufen werden. Dieser Ausgleich wird jedoch hauptsächlich durch den **Regulator** bewirkt.

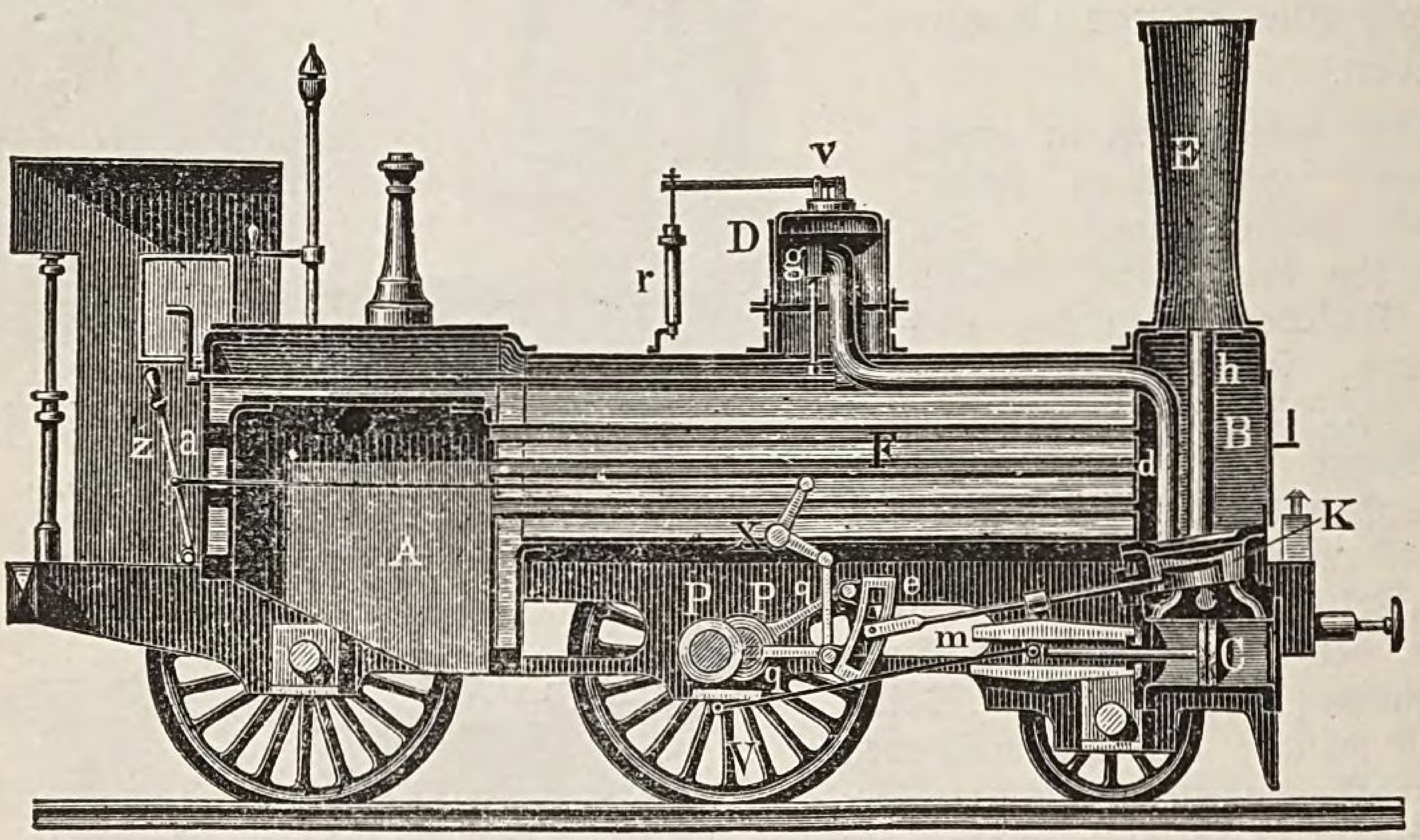
Fig. 216.




6. Der Centrifugal-Regulator (G) unterstützt das Schwungrad in seiner Wirkung dadurch, daß er den Dampfzutritt reguliert. Geht die Maschine schneller, so heben sich seine Arme und schließen vermittelst einer Zugstange (h) die im Dampfleitungsrohre angebrachte Drosselklappe ein wenig; geht sie langsamer, so senken sich die Arme, und die Klappe öffnet sich wieder mehr. Im ersteren Falle tritt weniger, im letzteren mehr Dampf in den Cylinder.

Eine besonders wichtige Art von Dampfmaschinen ist die **Lokomotive** (Fig. 217). Sie hat 2 Cylinder mit je einem Schieberkasten und statt des Schwungrades 2 große Triebräder, auf deren Welle sich die Arbeit des Dampfes zunächst überträgt. Auf dem Dampfkessel der Lokomotive (Walzenkessel mit Röhrenheizung) ist, um zu verhüten, daß durch die Erschütterungen während der Fahrt Wasser in das Dampfrohr eindringe, ein Dampfdom (D) angebracht, d. h. ein erhöhter Dampfraum, in den das Dampfrohr hineinragt. Letzteres teilt sich vorn in 2 nach den beiden Dampfkammern führende Arme. Ein auf dem Dampfdome befindliches Sicherheitsventil (v) dient dazu, bei zu hoher Dampfspannung dem überflüssigen Dampfe einen Ausweg zu verschaffen. Um mit der Lokomotive sowohl vor- als rückwärts fahren zu können, ist die Steuerung so eingerichtet, daß die Triebradwelle je nach Erfordernis in der einen oder anderen Richtung gedreht werden kann (Umsteuerung).

Fig. 217.




Erfindung der Dampfmaschine.

Vor etwa 200 Jahren (gegen Ende des 17. Jahrhunderts) wurde von Papin in Marburg zuerst nachgewiesen, daß durch den abwechselnden Druck von Wasserdämpfen und der freien Luft eine Kolbenbewegung hervorgerufen werden kann (vergl. § 62, Fig. 206). Dies führte bald darauf in England zur Erfindung von Maschinen, durch welche Wasserpumpen in Betrieb gesetzt werden konnten, die aus den dortigen Steinkohlenbergwerken das Grubenwasser entfernten.

Aus diesen sogen. atmosphärischen Maschinen entstand beinahe 100 Jahre später durch die sinnreichen Erfindungen des Engländers Watt die eigentliche Dampfmaschine, die unabhängig vom Luftdrucke, lediglich durch die Kraft von Wasserdämpfen getrieben, zur Bewegung von Arbeitsmaschinen aller Art benutzt werden kann. Die erste

Lokomotive baute der Engländer Stephenson; 1835 wurde die erste Eisenbahn in Deutschland erbaut.

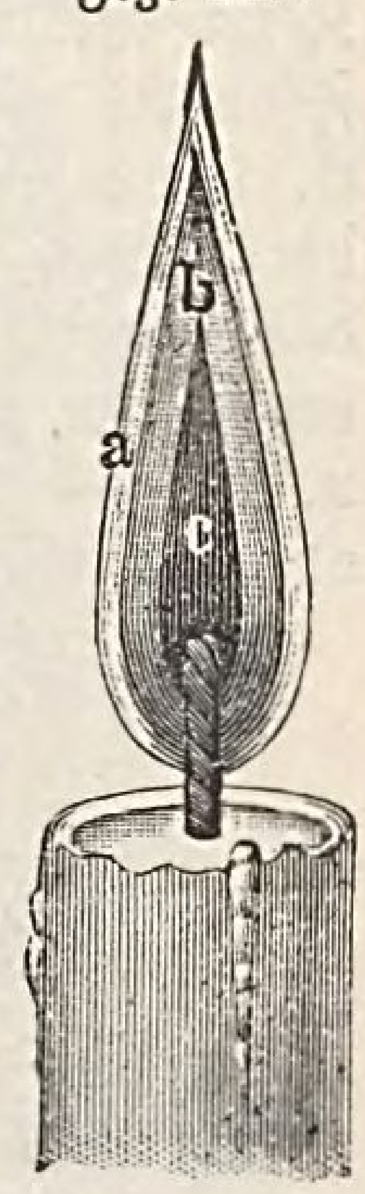
---

**Übungsstoff.** 1. Die Kraft des fließenden W. und des Windes läßt sich zum Maschinenbetriebe nicht so allgemein anwenden als die Dampfkraft; warum wohl? — 2. Wasserdämpfe von 120° drücken etwa doppelt, solche von 180° zehnmal so stark als die freie Luft. Welchen Vorteil gewährt diese Wirkung der Wärme für den Betrieb von Dampfmaschinen? — 3. Sparkochtöpfe (Papinsche Töpfe) dürfen wie die Dampfkessel der Dampfmaschinen ohne Manometer, d. h. ohne einen Apparat zur Überwachung des Dampfdruckes, und ohne Sicherheitsventil nicht gebraucht werden; w.? — 4. Bei stehenden Maschinen wird der Hebel des Sicherheitsventils durch ein angehängtes Gewichtstück belastet, während man bei Lokomotiven eine Spiralfeder dazu anwendet (in der Büchse r, Fig. 217); warum? — 5. Die Cylinder der atm. Maschinen waren oben offen und bis gegen 1½ m weit. Welchen Zweck mochte beides haben? — 6. Um die in Fig. 213 dargestellte Maschine bei der angegebenen Schieberstellung in Gang zu bringen, muß das Schwungrad zunächst mit der Hand ein wenig gedreht werden. Erkl.! — 7. Durch welchen äußerst einfachen Apparat wird die Hin- und Herbewegung des Kolbens so geändert, daß das Räderwerk dadurch in Umdrehung gerät? — 8. Welcher beiden Hilfsmittel bedarf es aber noch, um die entstandenen Kreisbewegungen möglichst gleichmäßig zu machen? — 9. Wie erfolgt dies? — 10. Welcher Teil der Dampfmaschine wirkt umgekehrt wie die Kurbel, und in welcher Weise? — 11. Welche besondere Einrichtung hat die Lokomotive?

---

**§ 65*. Quellen der Wärme.** Diejenige Wärmequelle, die im täglichen Leben in ausgedehntester Weise zur Wärmeerzeugung dient, ist die Verbrennung. Wenn ein Körper in der atmosphärischen Luft verbrennt, so vereinigen sich seine Grundstoffe mit dem Sauerstoffe der Luft. Die Verbrennung ist somit eine **chemische Wärmequelle.** Eine solche Vereinigung ist stets von Wärmeentwickelung begleitet, und zwar wird um so mehr Wärme erzeugt, je mehr Sauerstoff dabei verbraucht wird. Eine Flamme (Fig. 218) ist daher ringsum am Rande am heißesten, weil sie hier am meisten mit Luft in Berührung steht. Hiervon kann man sich leicht überzeugen, wenn man ein Holzstäbchen quer in die Flamme hält. Die Verkohlung des Stäbchens beginnt dabei von den Rändern der Flamme aus. Damit die Verbrennung eines Körpers eintreten kann, muß dieser erst bis zu einer bestimmten Temperatur erhitzt werden: Verbrennungstemperatur.

Fig. 218.



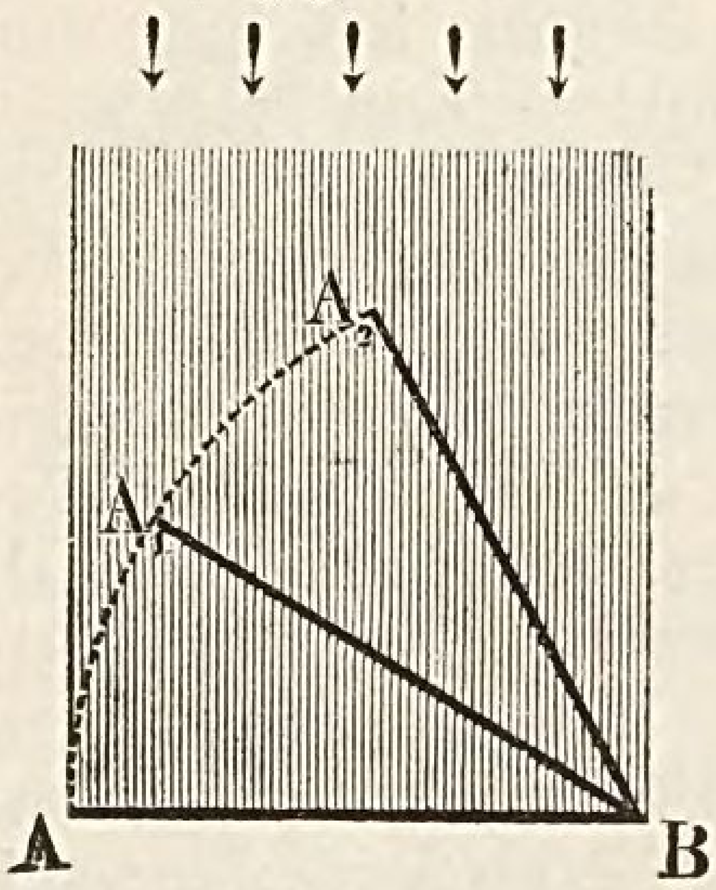

Die Anwendung von Gebläsen, Schornsteinen, Lampencylindern u. dgl. beruht darauf, daß die Verbrennung durch Zufuhr von Luft befördert wird.

Außer den chemischen Wärmequellen giebt es noch **mechanische Wärmequellen** (Reibung, Druck, Stoß u. dgl.). Im praktischen Leben bedienen wir uns derselben, um die Verbrennung zunächst einzuleiten (Streichhölzer, Stahl und Feuerstein). Wenn Messer gewetzt, Sägen, Feilen u. dgl. längere Zeit gebraucht werden, so fühlen sie sich ebenfalls warm an. Ein Hammer wird durch kräftige Schläge warm. Metalle werden durch Hämmern oft so heiß, daß man sich daran verbrennen kann u. s. w.

**Erwärmung durch die Sonnenstrahlen.** Die vorzüglichste Wärmequelle für die Erdoberfläche ist die Sonne. Zwar läßt sich aus gewissen Erscheinungen (Vulkane, heiße Quellen, Zunahme der Temperatur mit der Tiefe in Bergwerken und Bohrlöchern) schließen, daß die Erde eine Eigenwärme besitzt; letztere ist jedoch für die Vorgänge, die an der Oberfläche der Erde stattfinden, bedeutungslos. Dies gilt in noch höherem Maße von der Wärme, welche andere Gestirne gegen die Erde ausstrahlen.

Die Erwärmung der Körper durch die Sonnenstrahlen ist bei sonst gleicher Beschaffenheit der Körper von der Größe des Winkels abhängig, unter dem die Strahlen auffallen (Fig. 219).

Fig. 219.




Ein Körper wird durch die Sonnenstrahlen um so stärker erwärmt, je mehr der Winkel, unter dem die Strahlen auffallen, sich einem rechten nähert, und je größer das Vermögen des Körpers ist, Sonnenstrahlen in sich aufzunehmen.

Die gesamte Wärmemenge, welche der Erde in einem Jahre von der Sonne zugeführt wird, würde ausreichen, eine die ganze Erde umgebende Eisdecke von ungefähr 30 m Dicke zu schmelzen (gleichmäßige Verteilung der Wärme vorausgesetzt).

---

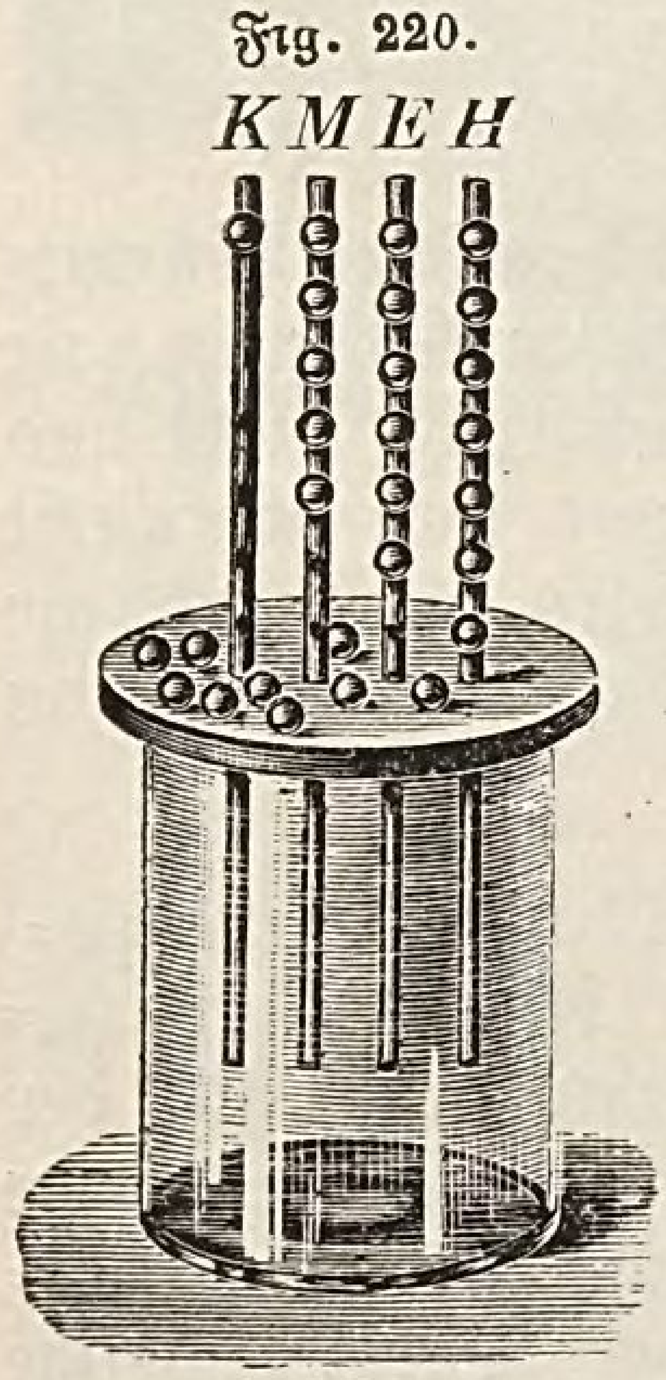
**Übungsstoff.** 1. Warum kann die Wärmemenge, welche ein K. bei seiner Erwärmung aufnimmt, niemals gleich der durch das Brennmaterial erzeugten Wärmemenge sein? — 2. Um bei einer Sonnenfinsternis die Sonne beobachten zu können, will man ein Stück Fensterglas mit Ruß schwärzen. Wie läßt sich dies ausführen, und woher stammt die schwarze Masse? — 3. Wird eine Glasröhre in eine leuchtende Flamme gehalten, so schwärzt sie sich zunächst; je heißer sie wird, desto mehr verschwindet der schwarze Überzug wieder. Erkl.! — 4. Wie erklärt es sich, daß Feuer durch Anblasen besser brennt? — 5. Warum schwalcht eine Petroleumlampe leichter, wenn der unterhalb der Flamme nach außen führende Hohlraum des Brenners nicht rein gehalten wird? — 6. Warum brennt die Flamme mit Cylinder besser als ohne Cylinder? — 7. Läßt man eine brennende Kerze auf W. schwimmen und überdeckt sie dann mit einem Glasgefäße, so erlischt die Flamme allmählich, und das W. steigt in dem Gefäße ein wenig hinauf. Erkläre dies. — 8. Eine abgeschossene Kugel schlage gegen einen Stein. Welchen Einfluß muß dies auf die Temp. der Kugel ausüben? — 9. Angenommen, beim Ausbohren von Metall werde das Bohrloch mit kaltem W. gefüllt. Was würde sich an diesem während des Bohrens beobachten lassen? — 10. Nach welcher Himmelsgegend werden Mistbeetfenster schräg angelegt, u. w.? — 11. An südlichen Abhängen gedeiht Wein im allgemeinen besser als an östlichen oder westlichen. Erklärung!

---

## B. Fortpflanzung der Wärme.

**§ 66. Wärmeleitung.** Ein brennendes Streichholz kann man mit bloßer Hand nahe an der Flamme halten, ohne sich zu verbrennen, desgl. einen Span, einen Faden, einen Strohhalm, ein Stück Papier; wenn man dagegen eine Nadel, einen Nagel oder einen Draht an einem Ende erhitzt und am anderen festhält, so verbrennt man sich leicht. Die Temperaturerhöhung schreitet demnach in den Körpern verschieden schnell fort.

Fig. 220.

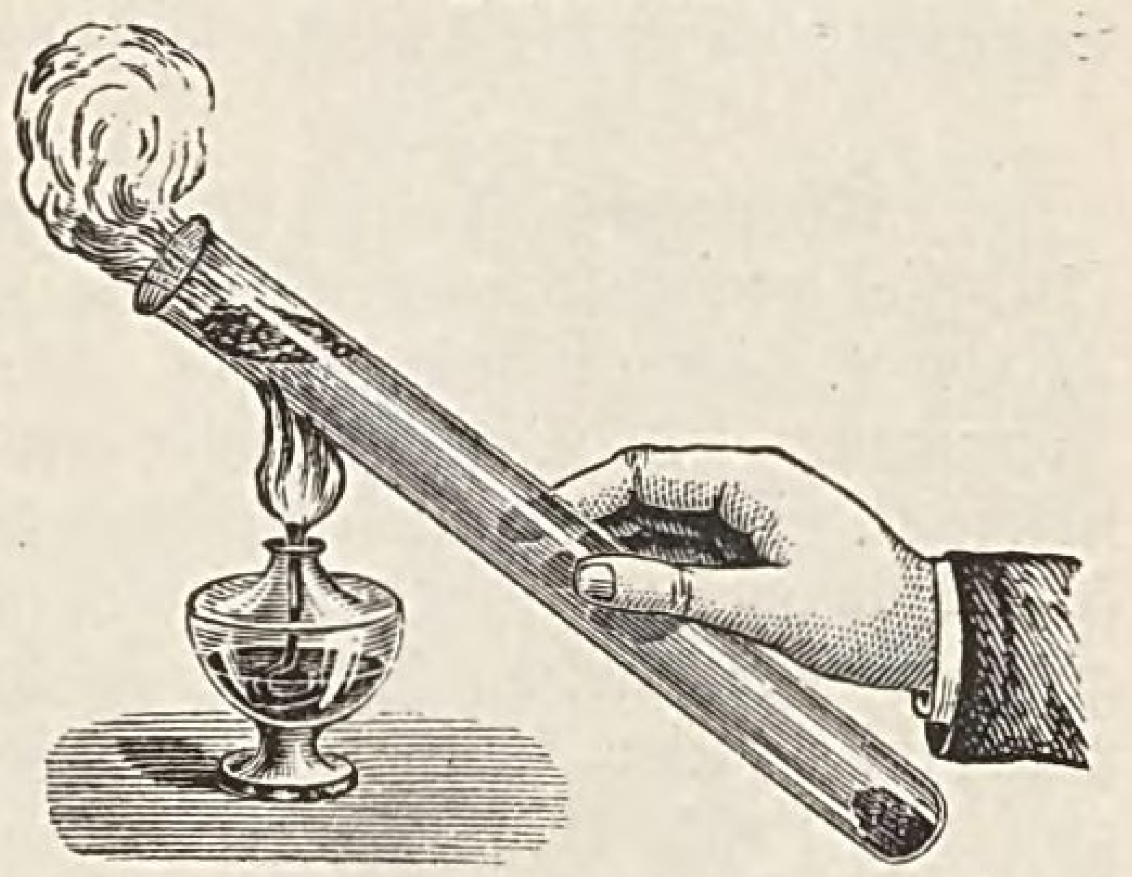



Dies zeigt sich auch, wenn man an gleichlangen Stäben aus Kupfer (K), Messing (M), Eisen (E) und Holz (H) kleine Kugeln mit Wachs befestigt und die Stäbe mit ihrem unteren Ende in kochendes Wasser taucht (Fig. 220). Die Kugeln fallen dann von den Stäben bis zu verschiedenen Höhen ab.

Auffällig langsam schreitet die Erwärmung im Wasser fort. Wie Fig. 221 (folg. Seite) zeigt, kann man im oberen Teile einer Probierröhre das Wasser bis zum Kochen erhitzen, ohne daß ein am Boden liegendes (mit Draht beschwertes) Stück Eis schmilzt.

Der Übergang der Wärme von einem Körper zu einem anderen bei unmittelbarer Berührung, sowie das Fortschreiten der Wärme im Innern eines Körpers wird **Wärmeleitung** genannt.

Fig. 221.



Das Vermögen der Körper, die Wärme durch Leitung fortzupflanzen, ist sehr verschieden. Manche Körper vermögen die Wärme leicht aufzunehmen und in ihrem Innern zu verbreiten: **gute Wärmeleiter;** bei anderen erfolgt dieser Vorgang sehr langsam: **schlechte Wärmeleiter.**

Die besten Wärmeleiter sind die Metalle, namentlich Silber und Kupfer. Die meisten Mineralien sind sogen. Halbleiter. Alle Flüssigkeiten sind schlechte Wärmeleiter. Das geringste Leitungsvermögen haben die luftförmigen Körper, daher leiten auch alle lockeren Stoffe, wie Schnee, Holz, Stroh, Wolle, Federn, Pelz, Asche u. s. w., die Wärme sehr schlecht.

Aus der Wärmeleitung erklären sich die durch Drahtnetze bewirkten Erscheinungen, welche eintreten, wenn man durch die Netze brennbares Gas hindurchströmen läßt und

Fig. 222.

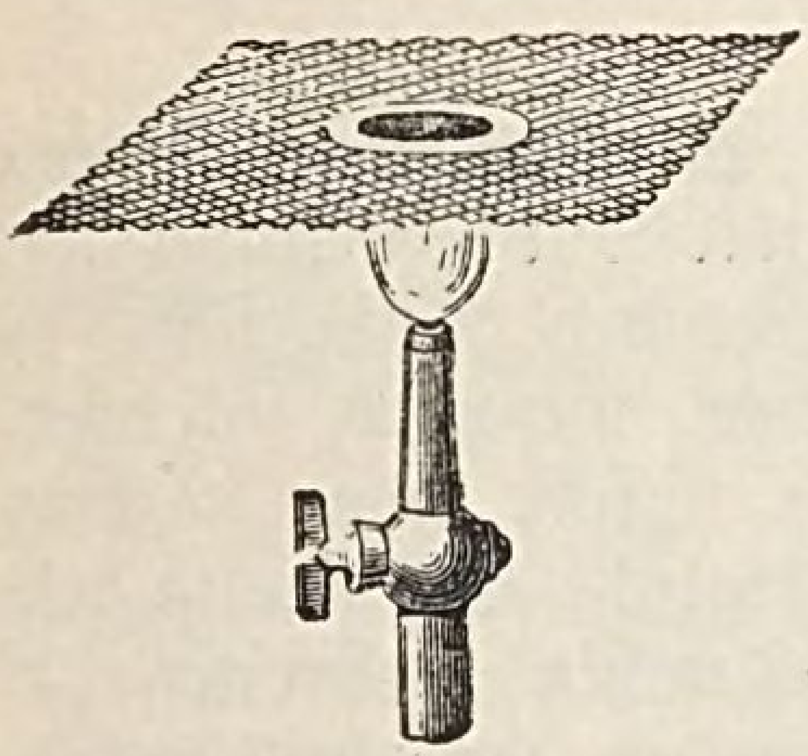


Fig. 223.

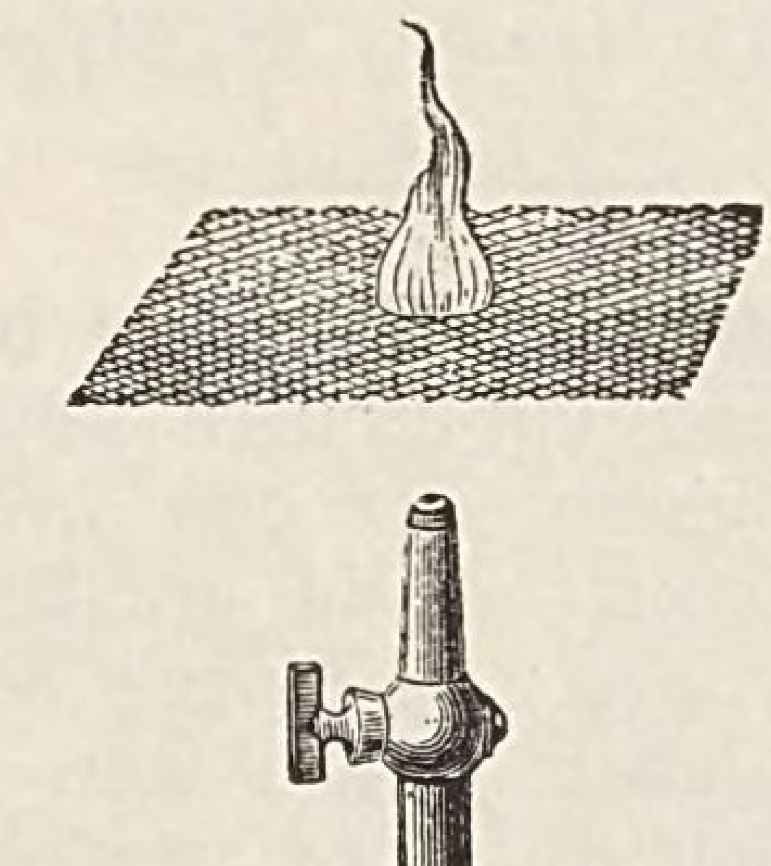
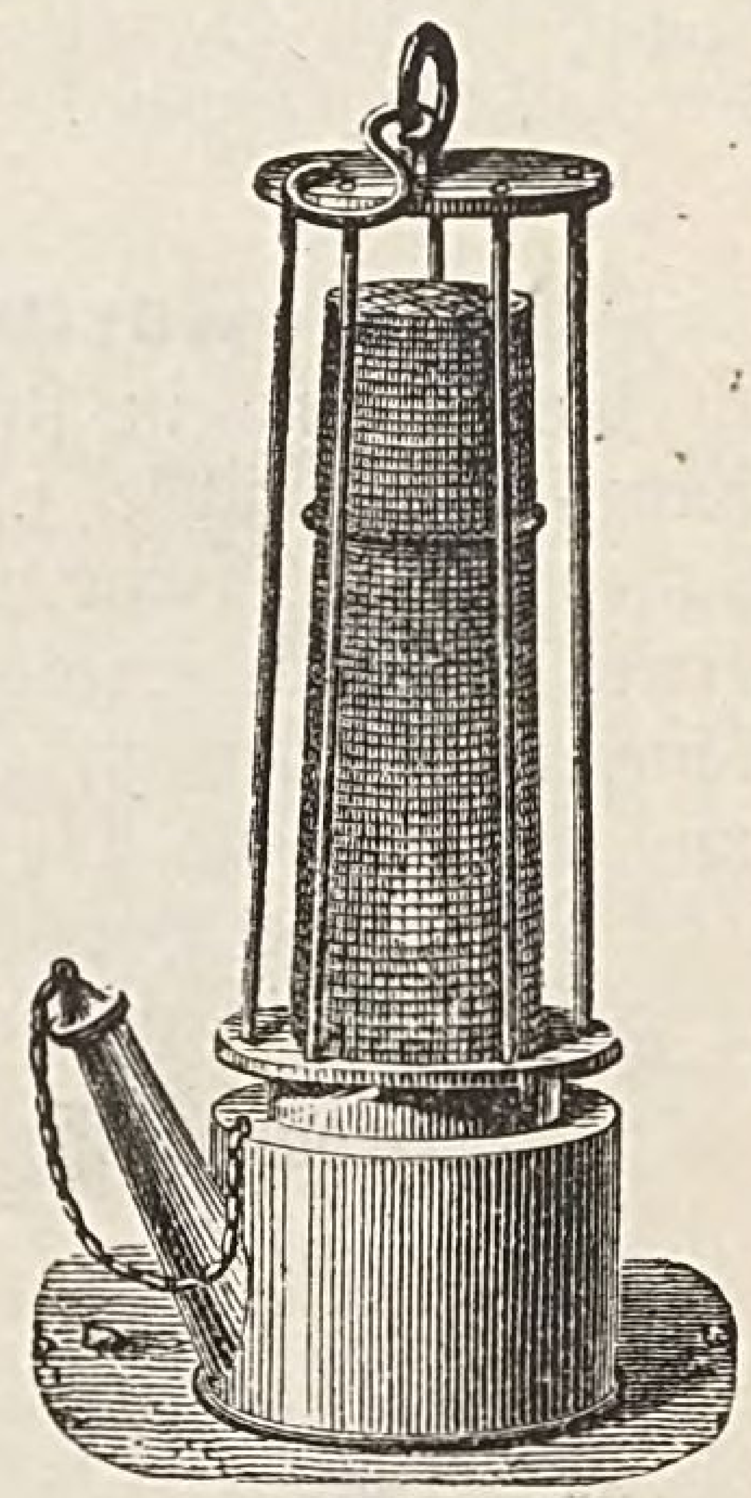


Fig. 224.



dieses dann unter- oder oberhalb derselben entzündet (Fig. 222 und 223).

Diese Eigenschaft der Drahtnetze findet eine sehr nützliche Anwendung bei den **Sicherheitslampen** (Fig. 224), die in Steinkohlengruben zum Schutze gegen sogen. schlagende Wetter dienen. Die Flamme einer Öllampe ist mit einem oben geschlossenen Cylinder aus Drahtgeflecht umgeben. Dringt nun das brennbare Grubengas in die Lampe ein, so entzündet es sich, aber nur innerhalb der Drahthülle. Dadurch wird der Bergmann auf die ihm drohende Gefahr aufmerksam gemacht. (Fig. 224 stellt die ursprüngliche Einrichtung dar, die später noch sehr verbessert worden ist, ohne jedoch vollkommene Sicherheit gewähren zu können.)

Im täglichen Leben machen wir von der ungleichen Wärmeleitung die mannigfachste Anwendung. Durch Kleidungsstücke, welche die Wärme schlecht leiten, vermögen wir uns am besten gegen Kälte und gegen nachteilige Einflüsse eines schnellen Temperaturwechsels zu schützen. Mit schlechten Wärmeleitern bedecken oder umhüllen wir im Winter Gegenstände, um sie vor Frost zu bewahren (Strohmatten in der Gärtnerei, Umwickeln von Brunnenpfosten, Baumstämmen u. dgl.); andererseits wenden wir schlechte Wärmeleiter auch gegen das Eindringen der Wärme an (hohle Mauern der Eiskeller, mit Asche ausgefüllte Doppelwände feuerfester Schränke u. s. w.). Um heiße Gegenstände ohne Gefahr angreifen zu können, bedienen wir uns ebenfalls schlechter Wärmeleiter (hölzerne Griffe an manchen metallenen Küchen- und Ofengeräten u. dgl.).

Auch in der Natur finden wir schlechte Wärmeleiter vielfach als Schutzmittel angewandt. Säugetiere, welche kalte Gegenden bewohnen, haben ein dichtes Haarkleid; der Körper der Vögel ist mit dem noch schlechter leitenden Gefieder bedeckt, das um so flaumartiger wird, je kälter die Luft ist. Schutz der Bäume und Sträucher durch die schlecht leitende Rinde, der Knospen durch Schuppen u. s. w.

---

**Übungsstoff.** 1. Was tritt ein, wenn man einen Zwirnsfaden fest um einen Schlüssel gewickelt einer Flamme aussetzt? Erkläre das Auffällige dieses Vorganges! — 2. Vergl. hiermit das in Fig. 222 und 223 dargestellte Verhalten von Drahtnetzen gegen Flammen. — 3. Welchen Zweck haben Doppelfenster? — 4. Wie erklärt es sich, daß lockere, filzige K. die Wärme viel schlechter leiten als dichte K., die aus demselben Stoffe bestehen? — 5. Durch wollene Decken kann man sowohl heiße Gegenstände gegen das Erkalten, als Eis gegen das Schmelzen schützen. Erkläre diesen scheinbaren Widerspruch. — 6. Warum bedeckt man im Winter steinerne Fußböden mit Holz, und hölzerne mit Teppichen? — 7. Eine glühende Kohle erlischt schneller auf einer Eisenplatte als auf Asche; w.? — 8. Wie läßt sich diese Eigenschaft der Asche zur Erhaltung der Glut in Öfen verwerten? — 9. Gläser zerspringen auf heißen Metallplatten (z. B. im Ofen) leichter als auf Steinplatten. Erkl.! (Papier als Unterlage.) — 10. Die Wände von Dampfkesseln verbrennen leicht, wenn sich viel Kesselstein darauf abgelagert hat. Erkl.! — 11. Unter einem Strohdache ist es im Winter wärmer, im Sommer dagegen kühler als unter einem Ziegel- oder Schieferdache. Grund! — 12. Der Schnee schützt die Saaten nicht allein gegen strenge Kälte, sondern überhaupt gegen raschen Temperaturwechsel. Grund! — 13. In einer Papierdüte läßt sich W. über einer Flamme bis zum Kochen erhitzen. Erkläre dies. — 14. Zinnerne oder aus Blech zusammengelötete Gefäße schmelzen leicht, wenn sie im leeren Zustande stark erhitzt werden; enthalten sie Wasser, so schmilzt das Metall nicht. Warum? — 15. Metalle fühlen sich im Sommer gewöhnlich wärmer, im Winter dagegen kälter an als Holz, Stroh u. dgl. Grund!

---

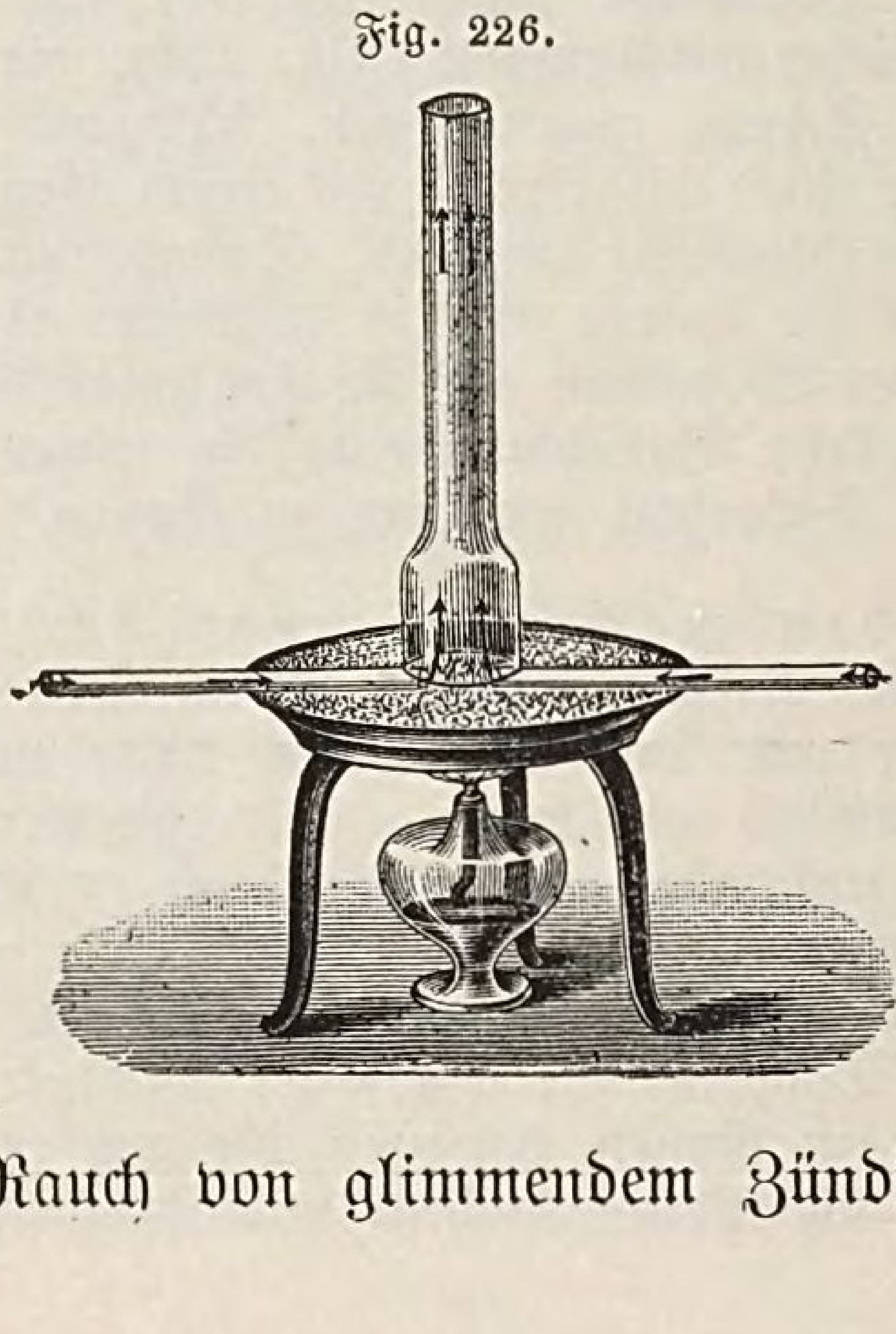
**§ 67. Fortpflanzung der Wärme durch Strömung.** Könnte sich die Wärme in flüssigen und luftförmigen Körpern nur durch Leitung fortpflanzen, so würde z. B. in einem über dem Feuer stehenden Kochgefäße das Wasser seine Temperatur oben nur wenig geändert haben, wenn es sich unten bereits bis zum Sieden erhitzt hätte; die Wärme der Öfen würde zwar in deren Nähe, nicht aber im ganzen Zimmer fühlbar sein. Die tägliche Erfahrung lehrt nun, daß sich die Wärme in solchen Fällen ziemlich gleichmäßig verbreitet. Es liegt daher die Vermutung nahe, daß sie sich in Flüssigkeiten und luftförmigen Körpern noch in anderer Weise als durch Leitung fortpflanzen kann.

In Kochgefäßen steigt das am Boden erwärmte Wasser in der Mitte auf und sinkt an den Seiten wieder nieder (Fig. 225), so daß immer neue Wasserteile mit dem erhitzten Boden in Berührung kommen. (Erklärung!) Ähnliche Strömungen entstehen auch in der Luft, wenn sie von unten erwärmt wird. Stellt man z. B. einen Lampencylinder über erhitzten Sand (Fig. 226), so werden diese Strömungen sichtbar, wenn man mittelst zweier Glasröhren den Rauch von glimmendem Zündschwamm zuführt. Öffnet

Fig. 225.

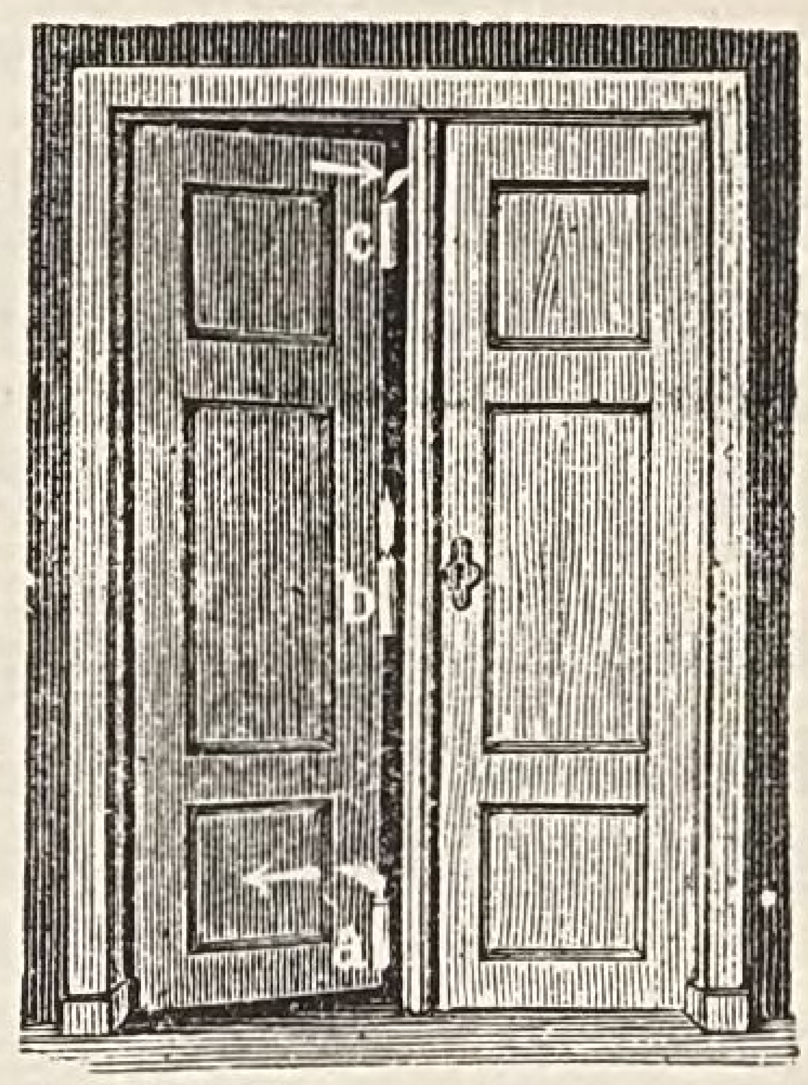


Fig. 226.



man die Thür eines geheizten Zimmers ein wenig, und hält eine brennende Kerze in verschiedener Höhe in die Öffnung, so ist die Flamme oben nach außen, unten nach innen und etwa in der Mitte aufrecht gerichtet (Fig. 227). (Erklärung!)

Fig. 227.



Flüssigkeiten pflanzen die Wärme von unten nach oben vorwiegend durch Strömung fort, luftförmige Körper thun dies fast ausschließlich.

Während die Erwärmung von Flüssigkeiten in Gefäßen stets von unten geschieht, findet in der Natur durch die Sonnenstrahlen eine Erwärmung von oben statt. Da sich die Wärme hierbei in stehenden Gewässern nur durch Leitung fortpflanzen kann, so erfolgt die Erwärmung nach unten hin äußerst langsam. In fließenden Gewässern tritt leicht eine Mischung der ungleichwarmen Wasserschichten ein. Durch die ungleiche Erwärmung des Meerwassers in den verschiedenen Zonen der Erde entstehen Meeresströmungen (Golfstrom). Die freie Luft erwärmt sich fast nur von unten durch den festen Boden und das Wasser, denn Luft läßt (wie Glas) die Sonnenstrahlen hindurch; ihre Temperatur nimmt daher auch mit der Höhe ab.

Im praktischen Leben wird bei Heizvorrichtungen das Aufsteigen der erhitzten Luft dadurch befördert, daß man sie durch Schornsteine ziehen läßt. Dasselbe geschieht im kleinen bei unseren Lampen durch Anwendung gläserner Cylinder. Dies gewährt bei den Heizvorrichtungen den Vorteil, daß das Brennmaterial mehr Hitze entwickelt. bei den Lampen die Annehmlichkeit, daß die Flammen besser leuchten. Auch in der Atmosphäre werden durch ungleiche Erwärmung Strömungen hervorgerufen (§ 70).

---

**Übungsstoff.** 1. Warum läßt sich W. von unten schneller erwärmen, als von oben? — 2. Welche praktische Anwendung macht man von den Strömungen, die in erwärmtem W. eintreten? (Warmwasserheizung.) — 3. Warum müssen eingemauerte Kessel (z. B. in Waschküchen) zuerst mit W. gefüllt werden, ehe man Feuer darunter anzündet? — 4. Erkläre das sogen. Anbrennen der Speisen. — 5. Warum leiden die Kochtöpfe darunter? (Frage 4.) — 6. Welche Ersch. zeigt eine Papierspirale (Fig. 228) auf einem geheizten Ofen? Erkl. und Anwendung! (Luftballons.) — 7. Welchen Einfluß muß bei Lampen die Benutzung eines Cylinders a. auf die Temp. der von der Flamme aufsteigenden Luft ausüben, b. auf die Geschw., mit der die Luft aufsteigt, c. auf die Geschw., mit der von unten zur Unterhaltung der Verbrennung wieder Luft zuströmt? — 8. Beurteile hiernach die Wirkung der Schornsteine. — 9. Um einen starken Zug zu erzielen, wendet man für Fabriken sehr hohe Schornsteine an. Erkl.! — 10. Wie muß sich der Rauminhalt der darin aufsteigenden Gase ändern? (Form hoher Schornsteine, um das Eindringen kalter Luft zu verhüten.) — 11. Angenommen, die Wärme der in einem Schornsteine aufsteigenden Gase und des Rauches teile sich der Wand des Schornsteines schnell mit; welchen Einfluß würde dies auf die Temp. und auf den Rauminhalt der aufsteigenden Gase ausüben? — 12. Welche Beziehung muß hiernach zwischen der Weite eines Schornsteines und dem Leitungsvermögen des dazu verwendeten Materials (Eisen oder Stein) bestehen? — 13. Wende dies auf den Fall an, daß ein aus Steinen bestehender Schornstein durch ein Blechrohr verlängert wird. — 14. Warum darf ein Schornstein inwendig nicht sehr rauh und uneben sein? — 15. Wie ist es zu erklären, daß Schornsteine am besten ziehen, wenn das Feuer schon eine Zeitlang gebrannt hat? — 16. Warum werden in Zimmern die Öffnungen zum Eintritte frischer Luft unten, die Abzugsröhren dagegen oben angebracht? (Erklärung der Luftheizung!) — 17. Warum lassen sich Wohnzimmer im Winter schneller lüften als im Sommer?

Fig. 228.



---

**§ 68*. Wärmestrahlung.** Gewisse Erscheinungen lassen erkennen, daß es außer der Wärmeleitung und der Verbreitung der Wärme durch

Strömung noch eine andere Art der Fortpflanzung der Wärme geben muß. Wenn man z. B. in die Glut eines Ofens sieht, so empfindet man, selbst wenn der Luftzug stark nach innen gerichtet ist, eine stechende Hitze, die sofort wieder verschwindet, sobald man den Ofen verschließt oder einen Schirm zwischen Gesicht und Feuer hält. Diese Wärme kann vom Feuer aus weder durch Leitung, noch durch Strömung fortgepflanzt worden sein. Ersteres ist nicht möglich, weil nach dem Verschlusse des Ofens die Hitze nicht mehr empfunden wird, obgleich Eisen viel besser leitet als Luft; letzteres deshalb nicht, weil bei nach innen gerichtetem Luftzuge die erhitzte Luft sich weiter von uns entfernt.

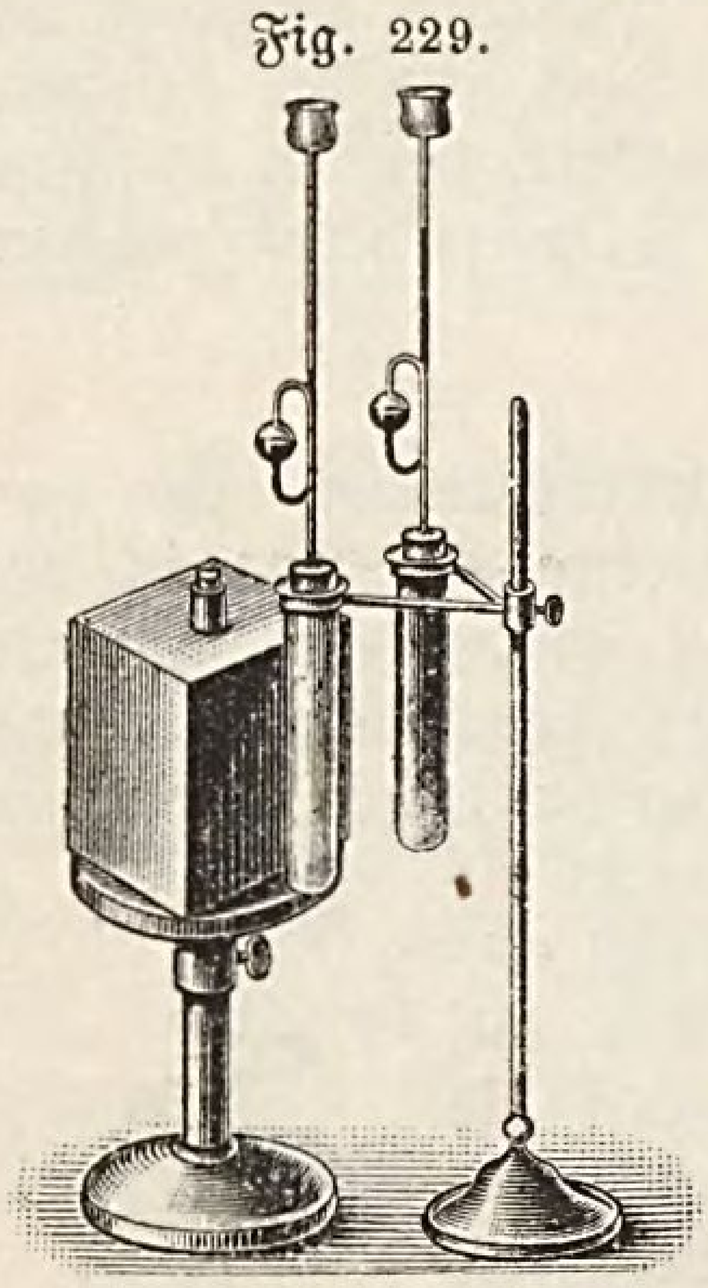
An kalten Wintertagen zeigt ein in der Sonne hängendes Thermometer eine merklich höhere Temperatur an, als die umgebenden Luftschichten besitzen. Die Wärme kann sich demnach von einem wärmeren auf einen kälteren Körper verbreiten, ohne die dazwischen liegenden Luftschichten zu beeinflussen.

Diese Art der Fortpflanzung der Wärme wird **Wärmestrahlung** genannt. — Über die Wärmestrahlung gilt der Satz:

Jeder Körper strahlt nach allen Richtungen Wärme aus. Die Wärmestrahlen pflanzen sich ebenso wie die Lichtstrahlen fort.

Unter der Einwirkung der von einem heißen Körper ausgestrahlten Wärme, sowie auch unter dem Einflusse der Sonnenstrahlen erwärmen sich die Körper sehr ungleich. Dies tritt z. B. deutlich hervor, wenn man 2 Thermoskope (Fig. 229), von denen das eine mit Ruß geschwärzt ist und das andere eine helle und glatte Oberfläche hat, kurze Zeit einem heißen eisernen Ofen oder einem mit kochendem Wasser gefüllten Gefäße gegenüberstellt, oder den direkten Sonnenstrahlen aussetzt. Während die Flüssigkeit im geschwärzten Thermoskope schnell steigt und bei der Abkühlung schnell wieder fällt, findet im anderen Thermoskope nur ein sehr langsames Steigen und Fallen statt.

Fig. 229.



Ist das mit Wasser gefüllte Gefäß auf einer Seite glatt und blank, auf der anderen mit Ruß geschwärzt, so läßt sich nachweisen, daß von der Oberflächenbeschaffenheit auch die Stärke der Ausstrahlung abhängt. Die Versuche lehren:

Glatte metallische Oberflächen strahlen am wenigsten, mit Ruß bedeckte, rauhe Flächen am meisten Wärme aus, dunkle Flächen im allgemeinen mehr als helle.

Das Vermögen der Körper, Wärmestrahlen aufzunehmen und dadurch selbst wärmer zu werden, ist um so größer, je größer ihr Ausstrahlungsvermögen ist.

Glas hat die Eigenschaft, die Lichtstrahlen leicht durch sich hindurchgehen zu lassen, nicht aber die Wärmestrahlen, besonders wenn letztere von einem nicht leuchtenden Körper ausgehen. Diese Eigenschaft ist für die Benutzung des Glases in den Fenstern der Wohnzimmer, Gewächshäuser u. s. w. sehr wichtig. Während das Sonnenlicht ungehindert durchdringt, werden die dunklen Wärmestrahlen von den Fensterscheiben zurückgehalten. — Die Luft läßt Licht- und Wärmestrahlen, namentlich die ersteren, leicht durch sich hindurch. Im Sonnenscheine ist sie daher nur wenig wärmer als im Schatten. Daß ein Thermometer im Sonnenscheine eine bedeutend höhere Temperatur anzeigt als im Schatten, hat seinen Grund in der Aufsaugung der Sonnenstrahlen durch das Quecksilber, nicht aber in der Mitteilung der Wärme durch die Luft.

Aus der Wärmestrahlung erklärt sich die starke nächtliche Abkühlung, die der Bildung des Taues und Reifes vorhergeht (§ 69). Die Erde strahlt

Tag und Nacht Wärme gegen den Himmelsraum aus. Da sie nun durch die Sonnenstrahlen nur am Tage Wärme empfängt, so muß sie sich nachts abkühlen. Je reiner und trockener die Luft ist, desto besser läßt sie die Wärmestrahlen durch sich hindurch.

Anwendung von Rauchfeuern in Weinbergen zum Schutze der Weinstöcke.

---

**Übungsstoff.** 1. Wie verhalten sich rußige Kessel zu blanken hinsichtlich der Aufnahme und Abgabe von Wärme? — 2. Welchen Vorteil bietet es demnach, metallene Thee- und Kaffeekannen, Dampfcylinder u. dgl. blank zu erhalten? — 3. In der Nähe geschwärzter eiserner Öfen empfindet man eine stechende, bei hellen Kachelöfen dagegen eine angenehme Wärme. Erkl.! — 4. An Wänden reifen Weintrauben eher als im Freien; warum? — 5. Wenn Eis mit Asche oder Ruß bestreut wird, so taut es schneller auf. Worin hat dies seinen Grund? — 6. Unter Laubblättern entstehen schneller Löcher im Eise als unter Steinen. Erkläre dies. — 7. Sind Ofenschirme aus Glas brauchbar, u. w.? — 8. Wenn man die Kugel eines Therm. mit Ruß schwärzt, so steigt und fällt das Qu. rascher. Erkl.! — 9. Zwei mit W. gefüllte Glasgefäße, von denen das eine mit Ruß geschwärzt ist, werden den Sonnenstrahlen ausgesetzt. a. In welchem wird das W. am schnellsten warm werden? b. In welchem wird es in einer kälteren Umgebung am schnellsten wieder erkalten? — 10. Inwiefern ist das entgegengesetzte Verhalten des Glases gegen Licht- und dunkle Wärmestrahlen von großem Nutzen? — 11. Zwei mit dunklem Erdboden gefüllte Kästen, von denen der eine offen, der andere mit gewöhnlichem Fensterglase bedeckt ist, seien in den Sonnenschein gestellt. Wie werden sich nach einiger Zeit die Temperaturen im Innern der Kästen unterscheiden? — 12. In welcher Weise pflegt man dies zu verwerten? — 13. Bei direktem Sonnenlichte taut das Eis an den Fenstern oft schon auf, wenn die Temp. der Umgebung noch unter Null ist. Erkläre dies. — 14. Auf sehr hohen Bergen empfindet man im Sonnenscheine eine stechende Hitze im Gesicht und an den Händen, während die Luft eisig kalt ist. Grund!

---

## C. Wärmeerscheinungen in der Atmosphäre.

### § 69*. Luftfeuchtigkeit und atmosphärische Niederschläge.

Da Wasser bei jeder Temperatur verdunstet, so muß die Atmosphäre stets Wasserdämpfe enthalten. Dies gilt nicht nur von der Luft über dem Meere und über den Flüssen, sondern auch von der über dem festen Lande, da dieses ebenfalls Feuchtigkeit enthält und außerdem durch die Winde ein beständiger Austausch der Luft unterhalten wird.

Um die Zu- und Abnahme der Luftfeuchtigkeit nachzuweisen, wendet man Instrumente an, die als wesentlichsten Teil einen organischen Körper enthalten, der leicht Feuchtigkeit aufsaugt und sich dadurch verkürzt oder verlängert, je nachdem er gedreht oder ungedreht ist. Solche Körper sind z. B. Darmsaiten (in den sogen. Wetterhäuschen), entfettete Menschenhaare, die Fruchtgrannen einer unter dem Namen Storchschnabel bekannten Pflanze, dünnes Gelatineblatt, das sich schon bei Berührung mit der Hand krümmt u. s. w. Die betreffenden Instrumente heißen **Hygroskope** oder **Hygrometer,** je nachdem sie nur eine Zu- oder Abnahme der Luftfeuchtigkeit anzeigen, oder aber eine genaue Bestimmung der Wasserdampfmenge ermöglichen.

Der Wechsel der Temperatur, dem die Erdoberfläche ebenso wie die Luft unterliegt, übt auch einen Einfluß auf die in der Luft enthaltenen Wasserdämpfe aus, denn die durch Wärme entstandenen Dämpfe gehen bei genügender Abkühlung wieder in den flüssigen oder festen Aggregatzustand über: es entsteht Tau, Reif, Nebel u. s. w. Diese Erscheinungen werden **atmosphärische Niederschläge** genannt.

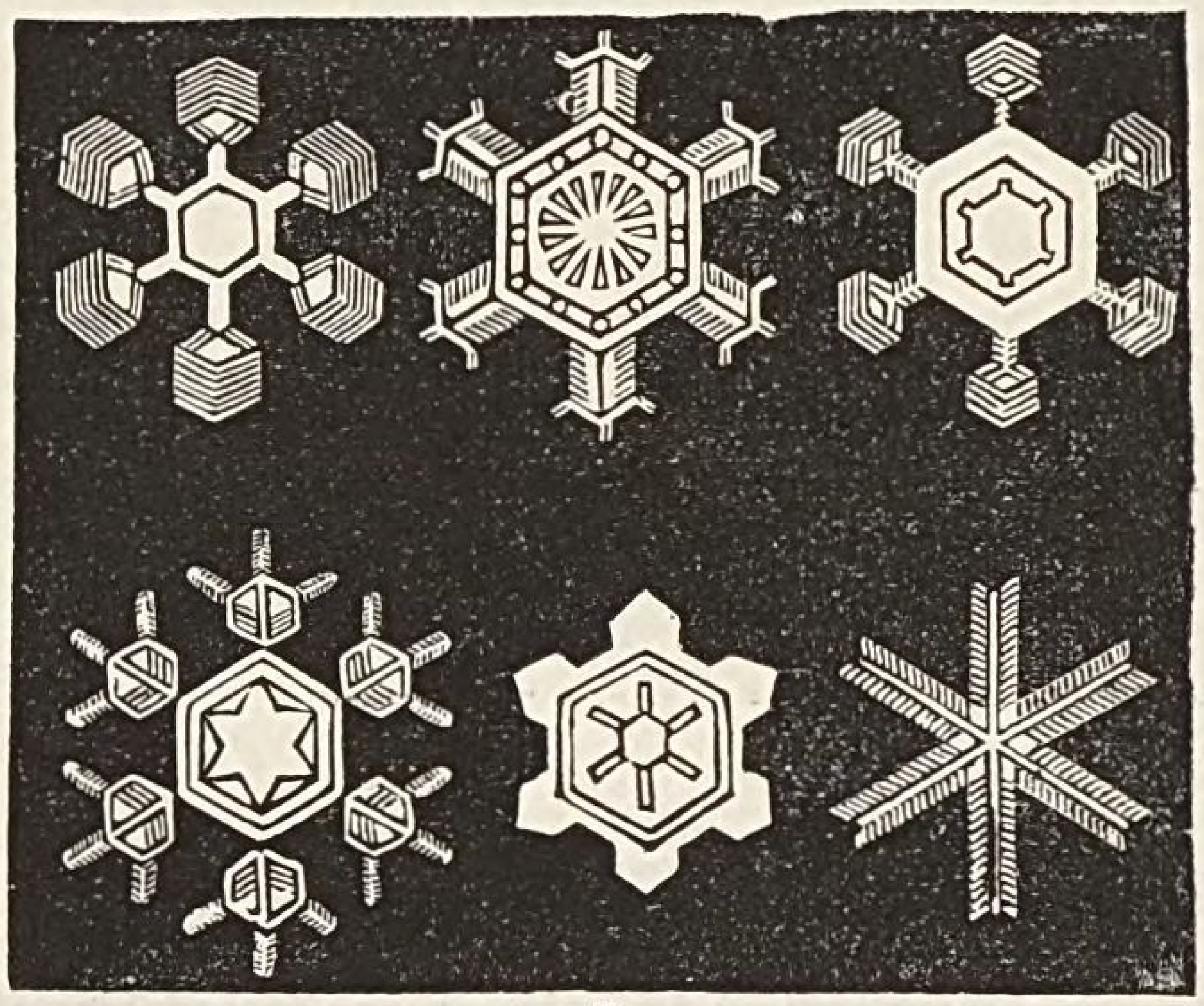
**1. Tau und Reif.** In heiteren Nächten kühlt sich der Boden mit den darauf befindlichen Gegenständen oft stark ab. Nach solchen Nächten sind im Sommer die Gegenstände gewöhnlich mit zahlreichen Wassertropfen **(Tau),** im Frühling und Herbst oft mit feinen Eisnadeln **(Reif)** bedeckt. Tau und Reif entstehen dadurch, daß die in der Luft enthaltenen Wasserdämpfe sich auf den

erkalteten Gegenständen verdichten, und zwar entsteht Tau, wenn die Abkühlung den Gefrierpunkt nicht erreicht, Reif, wenn die Temperatur bis 0° und tiefer sinkt.

2. **Nebel und Wolken.** Findet in der Luft selbst eine genügende Abkühlung statt, so bilden sich aus dem Wasserdampfe unzählige sehr kleine Wasserkügelchen, welche wegen ihrer Leichtigkeit nur äußerst langsam niedersinken oder von der Luft getragen werden. In der Nähe der Erdoberfläche erscheinen sie als **Nebel,** in den höheren Luftschichten als **Wolken.** — Die höchsten, sogen. Federwolken bestehen wahrscheinlich aus feinen Eisnadeln.

3. **Regen, Schnee, Graupeln, Hagel.** Wenn die Wasserkügelchen, aus denen die Wolken bestehen, sich zu größeren Tropfen vereinigen, so fallen sie aus der Luft herab und es entsteht **Regen.** — Kühlen sich Wolken bei Windstille bis 0° ab, so entstehen sechsstrahlige Eiskrystalle von den verschiedensten Formen (Fig. 230), die als **Schnee** niederfallen. — Bei raschem Temperaturwechsel im Frühjahr oder Herbst können die Oberflächen der in der Luft schwebenden Eiskrystalle leicht feucht werden. Tritt dann eine starke Luftbewegung ein, so bilden sich kleine Schneebälle, welche **Graupeln** genannt werden. Größere Eiskörner, deren Herabfallen aus der Luft meist während eines Gewitters stattfindet, bezeichnet man als **Hagel.** Hagelkörner sind gewöhnlich aus verschiedenen Schichten Eis zusammengesetzt, die einen graupelartigen Kern umschließen.

Fig. 230.



Die meisten Wasserdämpfe, welche die Luft enthält, und die als Regen, Schnee u. s. w. niederfallen, entstammen dem Meere. Auf diesem findet, namentlich in den heißen Erdstrichen, eine starke Verdunstung statt, so daß die Luft jener Gegenden sehr reich mit Wasserdämpfen angefüllt ist. Da Wasserdämpfe leichter sind als Luft, so steigen sie empor und können, soweit sie sich nicht schon über dem Orte ihrer Entstehung wieder zu Wolken verdichten, durch Winde weit entfernten Ländern zugeführt werden. Das in den Bächen, Flüssen u. s. w. sich ansammelnde Wasser fließt, der Schwere folgend, wieder ins Meer zurück. (Kreislauf des Wassers.)

Als Regenhöhe bezeichnet man die Höhe, die das Regenwasser oder das durch Schmelzen des Schnees entstehende Wasser auf dem Boden einnehmen würde, wenn durch Abfluß oder Verdunsten nichts verloren ginge. Zur Messung des Regens und Schnees dienen Blechgefäße, die im Freien nahe über dem Boden aufgestellt werden: **Regenmesser.**

In Europa erhalten die westlichen Küstenländer die meisten Niederschläge (bis 300 cm jährlich). In Deutschland nehmen die Niederschläge von W. nach O. zunächst ab, mit der Annäherung an die Gebirge jedoch wieder zu und an ihrer östlichen Seite wiederum ab. Die jährliche Regenmenge beträgt z. B. für Münster 69 cm, für Berlin 59 cm, für Posen 51 cm, für den Brockengipfel etwa 190 cm.

Die Erfahrung hat gelehrt, daß auch die Wälder für die klimatischen Verhältnisse eines Landes von großer Bedeutung sind. Waldungen verzögern das Eindringen und Abfließen der atmosphärischen Niederschläge und halten dadurch die Luft einer Gegend feuchter. Da bewaldete Flächen sich langsamer erwärmen und abkühlen als der waldfreie Boden, so können sich auch Temperaturgegensätze in waldreichen Gegenden nicht in dem Maße entwickeln, wie in waldlosen Gegenden.

**Übungsstoff.** 1. Wie ein Ofenschirm die Ofenwärme zurückhält, so halten Wolken und über dem Boden befindliche Gegenstände die Bodenwärme zurück. Wie erklärt es sich demnach, daß sich nach taureichen Nächten unter Tischen und Bänken, die im Freien stehen, kein Tau findet, während diese Gegenstände selbst mit Tau bedeckt sind? — 2. Wenn Tau durch starke Abkühlung der Gegenstände entsteht, wie ist dann die Thatsache zu erklären, daß z. B. Wiesen bei gleichfreier Lage stets bedeutend stärker betaut sind als Kieswege? — 3. Warum sind die dünnen Zweige der Bäume stets stärker bereift als die dicken, Thürschlösser, sowie die Köpfe der eisernen Nägel in den Wänden stärker als die Thüren und Wände selbst? — 4. Der aus dem Schornstein einer Lokomotive aufsteigende Dampf ist erst in einigem Abstande vom Schornsteine zu Nebel verdichtet; w.? — 5. Die Wolkenfahne einer Lokomotive ist im Winter bedeutend länger als an heißen trockenen Sommertagen. Erkläre dies. — 6. Nach langer Dürre verschwinden häufig die heranziehenden Wolken wieder. Erkl.! — 7. Wenn warme feuchte Winde in kältere Länder wehen, so können leicht Wolken entstehen; weht dagegen ein kalter feuchter Wind in ein wärmeres Land, über dem die Luft trocken ist, so entstehen keine Wolken. Grund! — 8. Was wird eintreten, wenn ein kalter Wind in ein Land weht, über dem die Luft sehr schwül ist, d. h. bei hoher Temp. sehr viel Wasserdämpfe enthält? — 9. Wenn auf starken Frost Tauwetter folgt, so „beschlagen“ die Mauern, fällt feiner Regen, so entsteht Glatteis. Erkl.! — 10. In Tirol, Südfrankreich und in anderen Ländern ist durch Entwaldung steiler Bergabhänge großer Schaden entstanden. Erkläre diese Erscheinung!

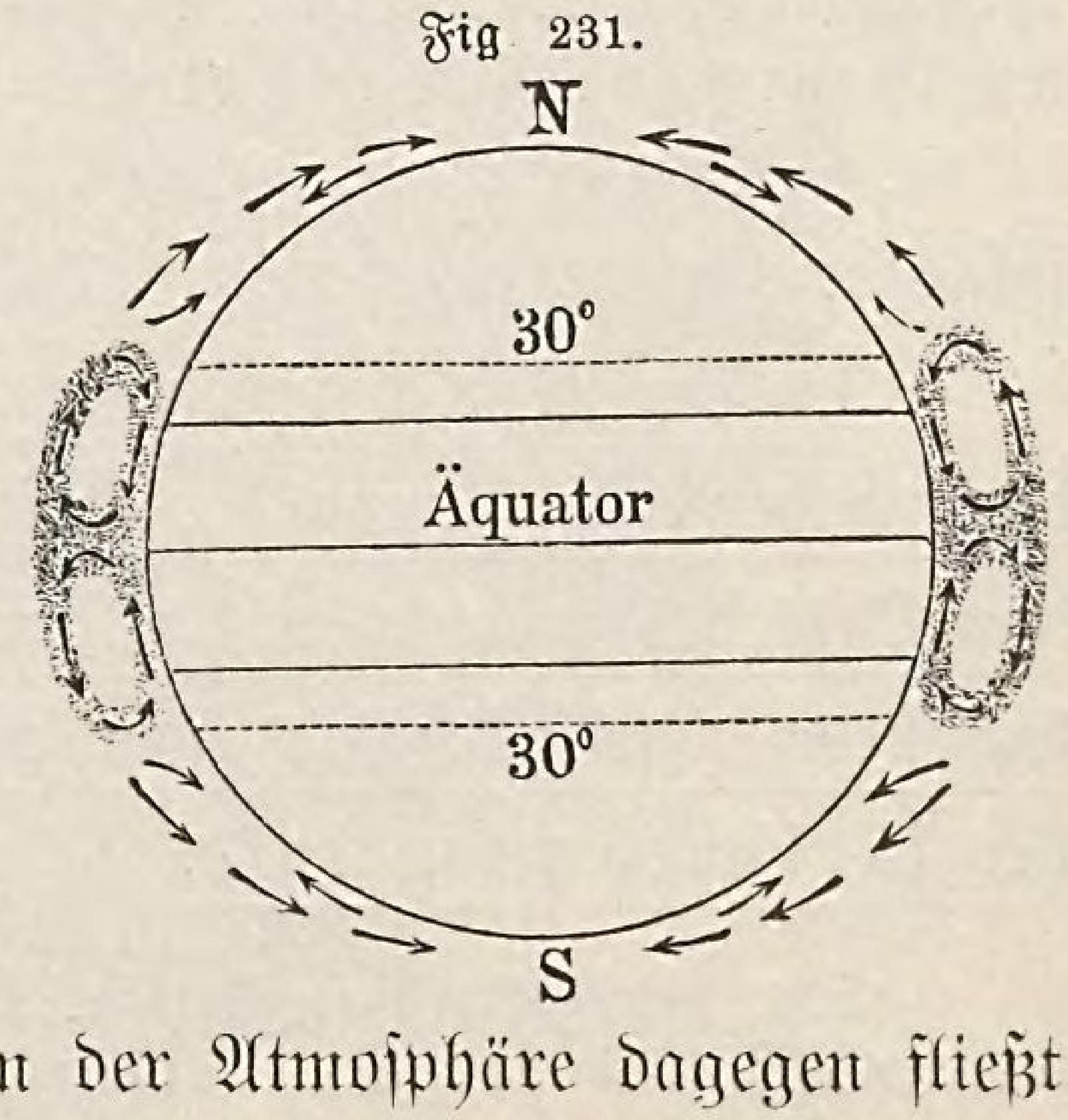
---

**§ 70*. Land- und Seeklima. Wind und Wetter.** Es ist eine bekannte Erfahrung, daß sich die Temperatur sowohl im Laufe eines Tages, als auch im Verlaufe eines Jahres mit dem Sonnenstande ändert. In der gemäßigten und kalten Zone sind die jährlichen, in der heißen Zone die täglichen Temperaturschwankungen am größten. Überall auf der Erde ist jedoch die Größe dieser Schwankungen davon abhängig, welche Lage der betreffende Ort zum Meere oder Festlande einnimmt. Wasser erwärmt sich nämlich unter dem Einflusse der Sonnenstrahlen sehr langsam (vergl. § 67) und kühlt sich auch langsam wieder ab, während beim festen Boden Erwärmung oder Abkühlung ziemlich schnell erfolgt. Auf dem Meere, an der Küste oder auf Inseln schwankt daher die Temperatur viel weniger, als inmitten einer größeren Festlandmasse.

Orte, welche mitten in einem großen Erdteile liegen, haben heiße Sommer und strenge Winter: **Kontinental-** oder **Landklima**. — Auf Inseln und nahe am Meere sind die Sommer kühl und die Winter milde: **Seeklima.**

Um einen Überblick über die Verteilung der Wärme auf der Erdoberfläche zu gewinnen, hat man für zahlreiche Orte die mittlere Temperatur in geographische Karten eingetragen und die Orte gleicher Temperatur durch Linien miteinander verbunden. Diese Linien verlaufen unregelmäßig, sind aber im wesentlichen wie die Parallelkreise der Erde gerichtet, da die Temperatur der Erdoberfläche im allgemeinen vom Äquator nach den Polen hin abnimmt: **Linien gleicher Temperatur** oder **Isothermen.**

Fig 231.




Wie in einem Zimmer durch die Wärme des Ofens Luftströmungen hervorgerufen werden, so übt auch die Sonnenwärme durch ihre ungleiche Verteilung auf der Erde einen Einfluß auf den Gleichgewichtszustand der Atmosphäre aus. Dies giebt sich am auffälligsten durch die sogen. **Passatwinde** zu erkennen. In den Äquatorgegenden wird die Luft durch die Sonnenstrahlen sehr stark erwärmt. Dadurch dehnt sie sich aus, steigt bis zu bedeutender Höhe empor und fließt nach beiden Seiten polwärts ab (Fig. 231). In den unteren Schichten der Atmosphäre dagegen fließt

kühlere Luft dem Äquator zu. Da die Erde Kugelgestalt hat, so wird der Raum für die polwärts abfließende Luft immer enger; zugleich kühlt sich diese auf ihrem Wege allmählich ab und senkt sich, bis sie, von der unteren Strömung erfaßt, dem Äquator wieder zugeführt wird. Diese Luftströmungen werden Passatwinde genannt. — Durch die Achsendrehung der Erde werden beide Winde von ihrer ursprünglichen Richtung abgelenkt: auf der nördlichen Erdhälfte wird aus dem oberen Passat ein Südwest-, aus dem unteren ein Nordostwind.

In größter Regelmäßigkeit weht der untere Passat nur auf dem Meere und zwar in einiger Entfernung von den Küsten. Der untere Passat ist ein trockener, der obere ein feuchter Wind.

Der Erdgürtel, in dem das tägliche Aufsteigen großer Luftmassen erfolgt, wird **Kalmengürtel** oder **Gürtel der Windstillen** genannt.

Der Kalmengürtel der Erde hat nicht überall die gleiche Breite und nicht immer dieselbe Lage, da sich seine Grenzen nach dem Sonnenstande verschieben. Innerhalb desselben herrscht das ganze Jahr Windstille, die nur zu Zeiten durch stürmische Winde unterbrochen wird. Fast täglich und zwar nachmittags, wenn die mit der Luft aufgestiegenen Wasserdämpfe sich zum Teil zu Wolken verdichtet haben, entstehen heftige Regengüsse mit Gewitterbildung; nachts ist der Himmel wieder heiter. Die jährliche Regenmenge in diesen Gegenden ist sehr bedeutend.

Außerhalb des Gebietes der Passatwinde, also in den höheren Breiten beider Erdhälften (z. B. in unseren Gegenden) findet ein mehr oder weniger unregelmäßiger Wechsel der Windrichtung statt: **Region der veränderlichen Winde.** Dies erklärt sich aus den Veränderungen des Luftdruckes. Einen Überblick über diese Verhältnisse gewinnt man am besten dadurch, daß man die Barometerstände zahlreicher Orte an jedem Tage in Karten einträgt und die Orte gleichen Druckes durch Linien verbindet (Fig. 232 und 233, folg. Seite). — Hiernach ergiebt sich, 1) daß die Orte des niedrigsten Luftdruckes am häufigsten auf einem kleineren Gebiete des Meeres oder Festlandes zusammenliegen und daß sich um dieses herum Orte höheren Druckes unregelmäßig und derart gruppieren, daß der Druck mit der Entfernung von jenem Gebiete bis zu einer gewissen Grenze zunimmt, 2) daß sich die Lage jenes Gebietes, sowie die Verteilung des Luftdruckes und damit auch die Windrichtung meist schnell ändert (die Fig. 232 und 233 geben eine oft vorkommende derartige Veränderung an).

In den Figuren 232 und 233 bezeichnen die kleineren befiederten Pfeile die Windrichtung und die Zahl der Fiedern die Windstärke. Während der beiden aufeinander folgenden Beobachtungstage fand in Deutschland durch die Veränderung der dargestellten Luftdruckverhältnisse eine Drehung des Windes aus Süd nach Südwest und West statt.

Die Verteilung des Luftdruckes und die damit zusammenhängende Windrichtung kann aber auch (umgekehrt wie oben) eine derartige sein, daß sich um ien Gebiet höchsten Druckes Orte niedrigeren Druckes gruppieren.

Über den Zusammenhang zwischen Windrichtung und Luftdruck haben sich folgende Gesetze ergeben:

1) Die Winde wehen stets von den Gegenden, welche einen höheren Luftdruck haben, dahin, wo der Luftdruck niedriger ist. — 2) Auf ihrem Wege nach dem Orte des niedrigsten Luftdruckes werden alle Winde durch die Achsendrehung der Erde abgelenkt, und zwar auf der nördlichen Erdhälfte nach rechts, auf der südlichen nach links.

Der unregelmäßige Wechsel der Windrichtung hat für unsere Gegenden auch eine Unregelmäßigkeit des Wetters zur Folge, denn die Winde bringen ihre Eigenschaften

Fig. 232.

## Luftdruck und Wind vom 10. u. 11. Okt. 1878.

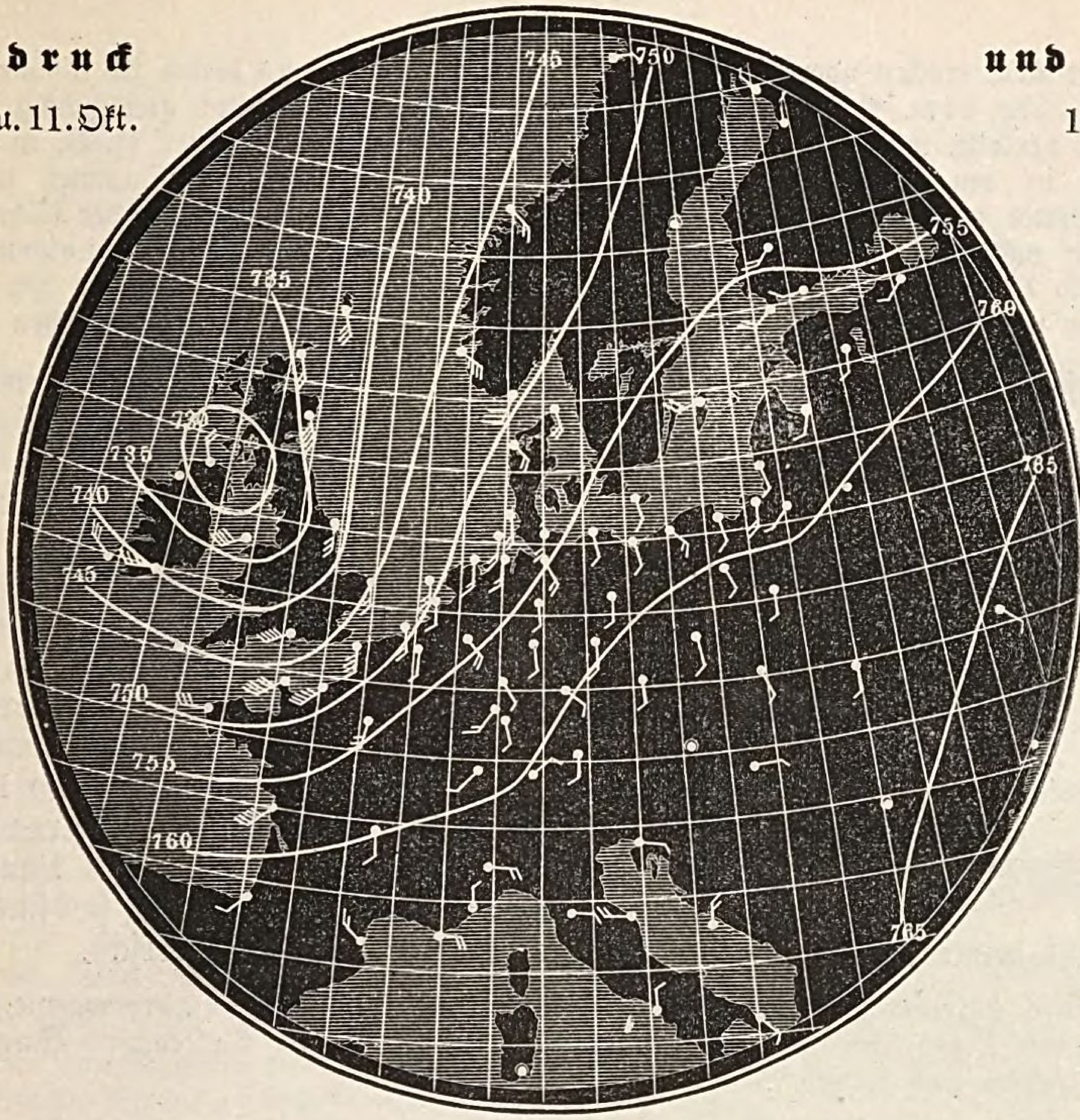
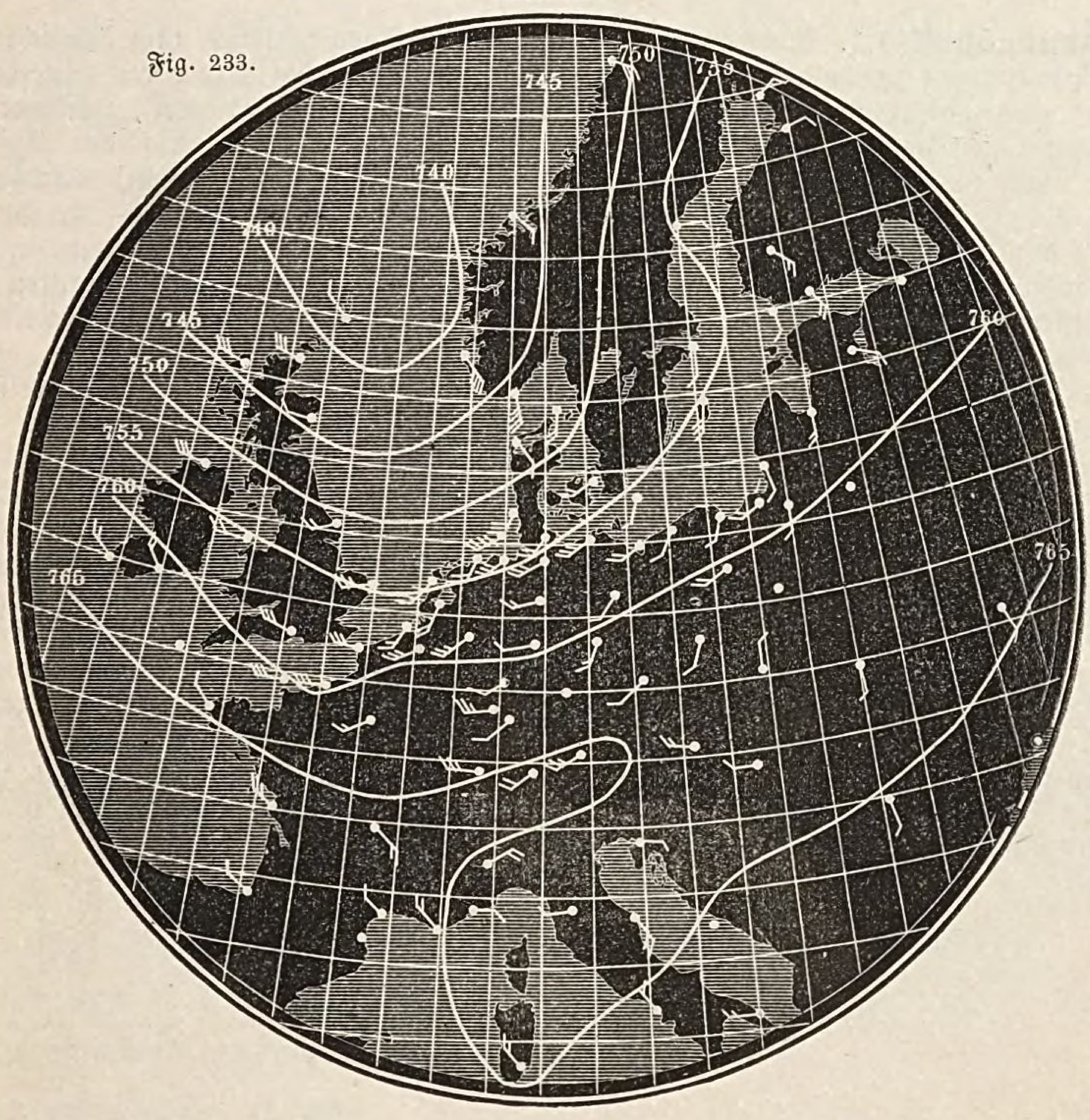
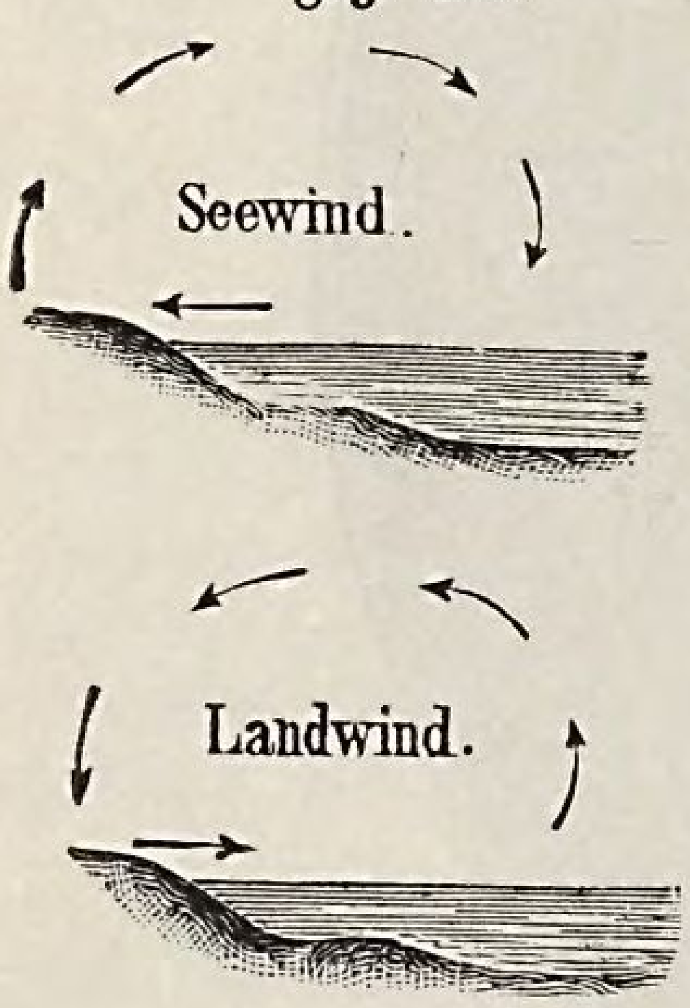



Fig. 233.



(warm oder kalt, trocken oder feucht) aus den Gegenden mit, aus denen sie kommen (siehe Seite 52). Die atm. Niederschläge sind in Deutschland ziemlich gleichmäßig auf das ganze Jahr verteilt, während sie in manchen südlicher gelegenen Ländern (z. B. in Italien) namentlich in den kühleren Jahreszeiten vorkommen, da dort im Sommer trockenes, heiteres Wetter vorherrscht. In den Gebirgen steigt die Regenmenge mit der Höhe, da die Temperatur nach oben abnimmt, die Verdichtung der Wasserdämpfe also zunimmt. Besonders sind diejenigen Seiten hoher Gebirge reich an Regen oder Schnee, die den feuchten Winden am meisten ausgesetzt sind (in Deutschland die südwestlichen und westlichen Seiten).

Fig. 234.




**Küstenwinde** (Land- und Seebrisen). An den Küsten, namentlich in der heißen Zone, kann auch durch den regelmäßigen täglichen Temperaturwechsel ein Wechsel in der Windrichtung hervorgerufen werden (Fig. 234). Tagsüber steigt hier die vom Boden aus erwärmte Luft in die Höhe und kühlere, dichtere Luft vom Meere her tritt an ihre Stelle; des Nachts dagegen strömt die über dem Boden liegende, abgekühlte Luft nach dem Meere hin. Am Tage weht somit ein Seewind, in der Nacht ein Landwind. Ersterer wird in der Regel erst mehrere Stunden nach Sonnenaufgang bemerklich, nimmt noch 2—3 Stunden lang nach Mittag an Stärke zu und legt sich gegen Abend; letzterer beginnt etwa gegen Mitternacht und weht am stärksten gegen Sonnenaufgang. Die Land- und Seewinde sind im allgemeinen nur schwach; sie sind überhaupt nicht bemerklich, wenn ein anderer, stärkerer Wind vorherrscht.

Winde, deren Eigenschaften besondere Ursachen haben, sind z. B. der warme, trockene Föhn in den Alpen, der heiße Sirocco in Italien und der Wüstenwind Samum in Persien, Arabien und Ägypten.

---

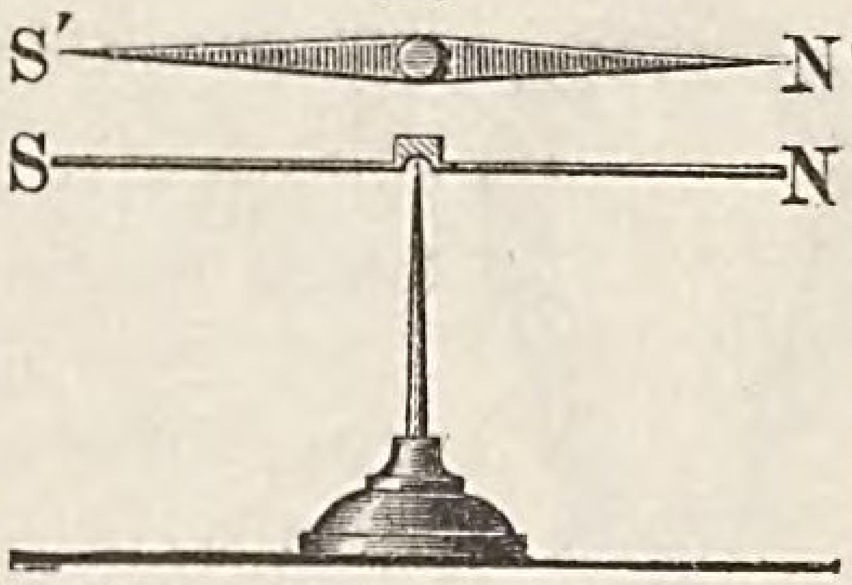
**Übungsstoff.** 1. Wodurch werden die regelmäßigen täglichen und jährlichen Temperaturschwankungen veranlaßt, und welchen Einfluß haben die Meere auf dieselben? — 2. Wasser giebt hinsichtlich seines Temperaturwechsels eine gewisse Trägheit, trockener Boden dagegen eine gewisse Lebhaftigkeit zu erkennen; inwiefern? — 3. Auf der Spitze des ungefähr 3600 m hohen Piks von Teneriffa (größte der kanarischen Inseln) weht beständig ein SW.-Wind, während auf dem Meere ein NO.-Wind weht. Erkl.! — 4. Im Jahre 1835 fiel auf der Insel Jamaika in großer Menge Asche nieder, die von einem in Mittelamerika südwestlich von der Insel gelegenen und über 160 geogr. Meilen entfernten Vulkan ausgeworfen worden war. Auf der Insel wie auf dem Meere wehte der NO.-Passatwind. Wie erklärt sich jene Ersch.? — 5. In höheren Luftschichten wehen alle Winde stärker, als nahe am Boden, ebenso wie sich auf einem Flusse schwimmende Gegenstände in der Mitte schneller fortbewegen, als in der Nähe des Ufers. Erstere Ersch. ist oft am Ziehen der Wolken deutlich zu erkennen. Erkl.! (Auch an den Küsten wehen die Winde gewöhnlich heftiger als über dem Festlande. Vgl. in dieser Beziehung die Angaben der beiden Figuren 232 und 233.) — 6. Inwiefern kann man sagen, daß die Winde im allgemeinen auf krummen Wegen wehen? — 7. In welchem Falle ist das Bestreben der Luft, nach den Stellen des niederen Druckes hinzufließen, größer, wenn der Unterschied zwischen den Barometerständen der betreffenden Orte groß oder wenn er gering ist? — 8. Man stelle sich vor, man befände sich an einem der in Fig. 232 und 233 durch Pfeile bezeichneten Orte und wendete dem Winde den Rücken zu. Nach welcher Seite hat man die Gegend des geringsten Luftdruckes? — 9. In der heißen Zone ist der Temperaturunterschied zwischen Tag und Nacht bedeutend größer als in unseren Gegenden. Wie erklären sich hieraus und aus dem ungleichen Verhalten von Boden und W. gegen Erwärmung die Unterschiede in der Stärke der Küstenwinde?

# 6. Abschnitt.

# Vom Magnetismus.

## § 71. Magnetische Grunderscheinungen. Magnetnadel.

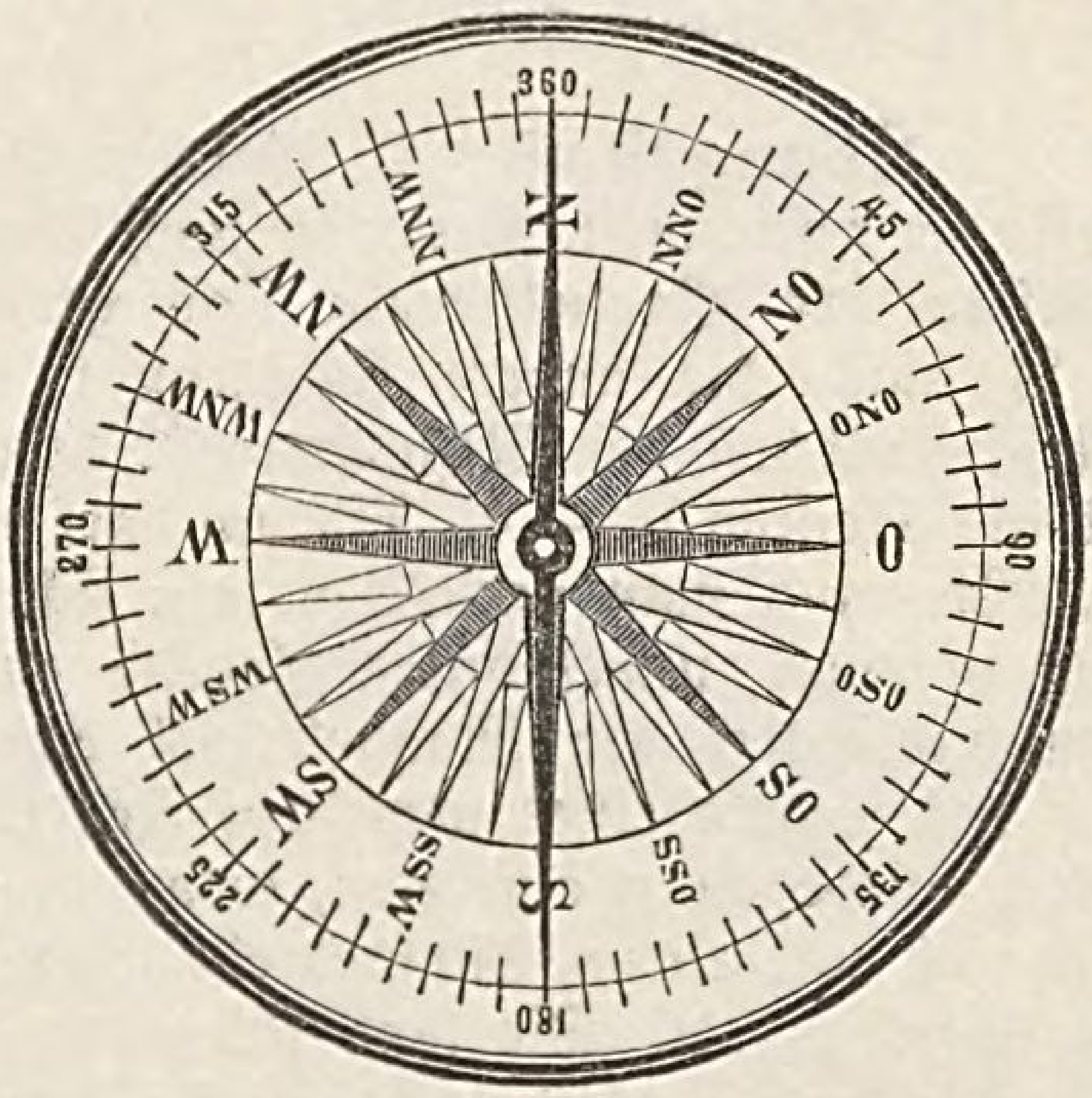
Fig. 235.




Um die Himmelsgegenden zu jeder Zeit schnell und sicher bestimmen zu können, bedient man sich des bekannten, als Kompaß bezeichneten Instrumentes. In seiner einfachsten Einrichtung besteht es aus einer kleinen, messingenen Kapsel mit einer **Magnetnadel.** Die Magnetnadel (Fig. 235) ist ein dünnes Stahlstäbchen, das sich auf einer senkrecht stehenden Spitze leicht drehen kann. Sie besitzt die Eigenschaft, in ihrer Ruhelage mit dem einen Ende nach **Norden** und mit dem anderen nach **Süden** zu zeigen.

Damit sich die Magnetnadel möglichst leicht drehen kann, ist in ihrer Mitte ein Achathütchen befestigt, in welches die Spitze eingreift. Auf dem Boden der Kapsel befindet sich zur näheren Angabe der Himmelsgegenden eine sternförmige Zeichnung, die sogen. Windrose, welche von einem in Grade geteilten Kreise umgeben ist. (Fig. 236).

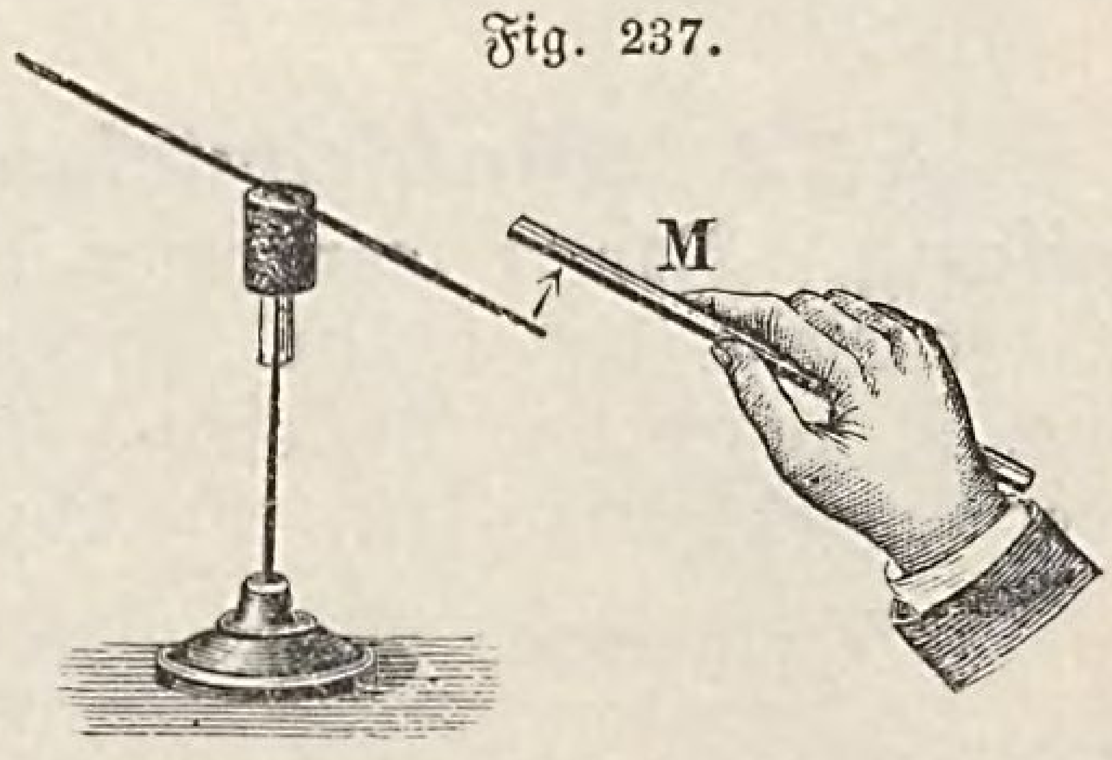
Fig. 236.




Der von Schiffern zur Orientierung auf der See gebrauchte Kompaß besteht aus einem ziemlich großen Gehäuse aus Kupfer- oder Messingblech, in dem ein Magne stab so unterstützt ist, daß er bei jeder Stellung des Schiffes in wagerechter Lage bleibt (siehe Fig. 20).

Wird einer Magnetnadel ein Stück Eisen oder Stahl genähert, so wendet sie sich mit ihrer Spitze um so kräftiger nach dem Metalle hin, je näher man ihr mit demselben kommt. Die gleiche Erscheinung (Anziehung) tritt auch ein, wenn man ein Blatt Papier oder irgend einen anderen, nicht aus Eisen oder Stahl bestehenden Körper zwischen die Nadel und das Metall hält, oder wenn man umgekehrt ein Eisenstäbchen (z. B. eine Stricknadel) leicht drehbar unterstützt (wie in Fig. 237) und ihm eine Magnetnadel nähert.

Fig. 237.




Ein Körper, der die Eigenschaft besitzt, Eisen anzuziehen und festzuhalten, wird **Magnet** genannt. Das, was dem Körper diese Kraft der Anziehung (magnetische Kraft) verleiht, heißt **Magnetismus.**

Ein frei beweglicher Magnet nimmt in seiner Ruhelage stets eine bestimmte Richtung an. Das eine Ende desselben zeigt nach Norden, das andere nach Süden; ersteres nennt man **Nordpol,** letzteres **Südpol.** — Ein Magnet und Eisen ziehen sich gegenseitig an und zwar um so stärker, je mehr sie einander genähert werden.

Bestreut man einen Magnet mit Eisenfeilspänen (Fig. 238), so giebt sich deutlich zu erkennen, daß die magnetische Anziehung an den beiden Enden (Polen) am stärksten ist und von da nach der Mitte hin allmählich abnimmt. Die Stelle, an welcher der Magnet keine Wirkung äußert, heißt **Indifferenzstelle.**

Fig. 238.

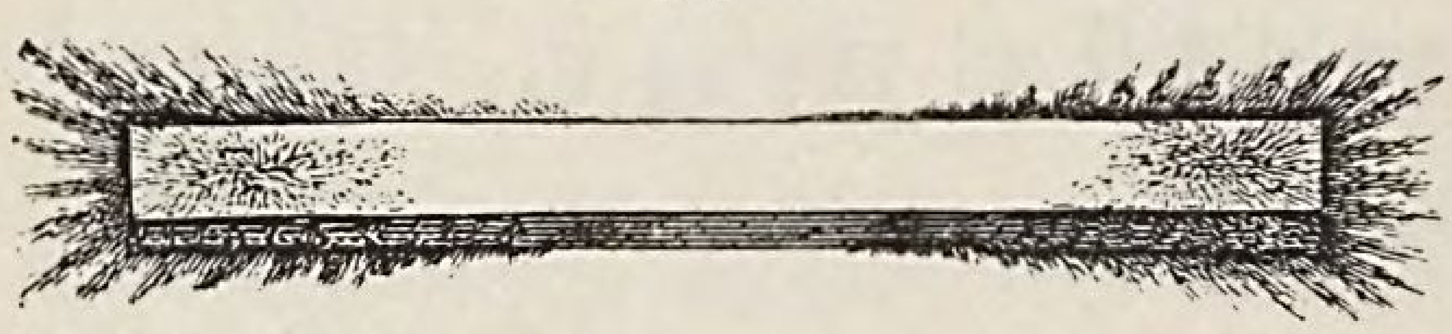
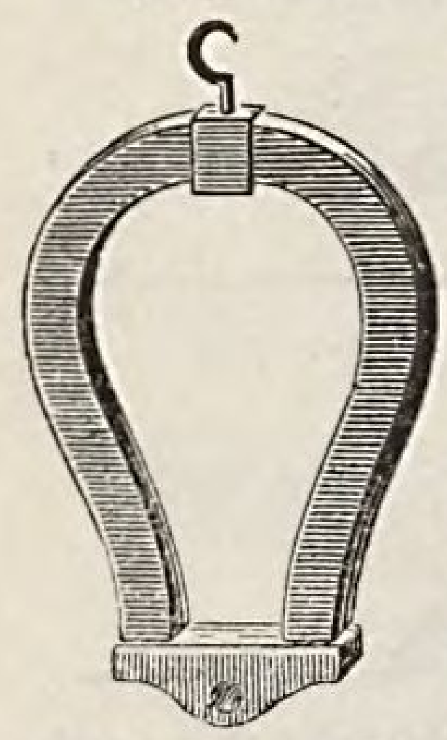


Fig. 239.



Soll ein Magnet nicht wegen seiner richtenden Kraft, wie die Magnetnadel, sondern wegen seiner Anziehungskraft benutzt werden, so giebt man ihm Hufeisenform, damit beide Pole zugleich auf das Eisen einwirken können (Fig. 239). Hufeisenmagnete werden in der Weise aufbewahrt, daß man sie aufhängt und zur allmählichen Steigerung ihrer Tragkraft mit einem Stücke weichen Eisens (Anker) und daran gehängten Gewichten belastet.

Die magnetischen Erscheinungen sollen von den Griechen zuerst an einem Eisenerze wahrgenommen worden sein, das in der Nähe der Stadt Magnesia in Kleinasien gefunden wurde. Nach diesem Fundorte nannte man solche Eisensteine Magnete. Man findet derartige Erze (Magneteisensteine) noch an vielen anderen Orten, besonders in Schweden. Da die Eigenschaft des Magnetismus auch in metallischem Eisen und Stahl hervorgerufen werden kann, so unterscheidet man **natürliche** und **künstliche Magnete.**

Schon vor mehreren tausend Jahren sollen sich die Chinesen der Magnetnadel bedient haben. In Europa scheint sie erst seit dem 14. Jahrhundert eine allgemeine Anwendung bei der Schiffahrt gefunden zu haben.

---

**Übungsstoff.** 1. Welchen Vorteil bietet es, die Himmelsgegenden mit dem Kompasse zu bestimmen, statt sich nach dem Stande der Sonne zu richten? — 2. Die beiden Hälften der Magnetnadeln sind gewöhnlich durch die Farbe unterschieden (die eine ist z. B. blau, die andere stahlgrau); warum wohl? — 3. Warum nimmt man statt der Messinghütchen bei Magnetnadeln Achathütchen? (Achat ist ein Stein, der bedeutend härter ist als Messing.) — 4. Warum darf das Gehäuse eines Kompasses kein Eisen enthalten? — 5. Wie muß man verfahren, um sich mittelst Karte und Kompaß von einem hohen Punkte aus in einer unbekannten Gegend zu orientieren? — 6. Welche Vorsicht ist wegen der Empfindlichkeit der Magnetnadel gegen Eisen hierbei anzuwenden? — 7. Angenommen, auf der Schale einer gemeinen Krämerwage läge Eisen und es wäre Glgew. hergestellt. Was würde dann eintreten, wenn man einen Magnet unter die Schale legte? — 8. Wie läßt sich mit einem Magnet ein Gemisch von kleinen Eisen- und Messingstiften oder dergl. sortieren? — 9. Wie läßt sich untersuchen, welcher von 2 Magneten der stärkere ist? — 10. Welchen Vorteil gewährt die Hufeisenform eines Magnets?

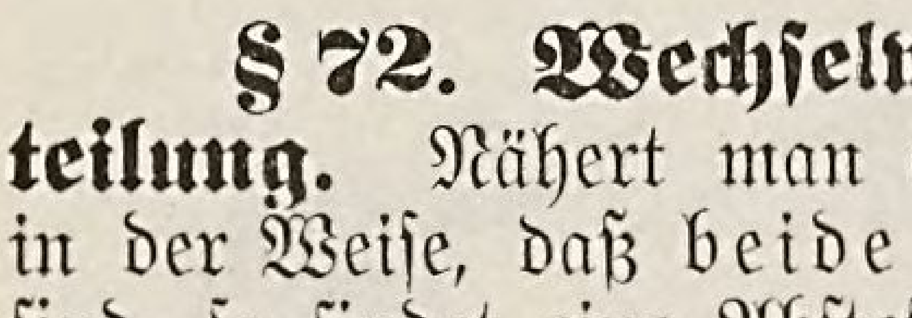
---

**§ 72. Wechselwirkung zweier Magnete. Magnetische Verteilung.** Nähert man einer Magnetnadel eine andere oder einen Magnetstab in der Weise, daß beide Nordpole oder beide Südpole einander zugewandt sind, so findet eine Abstoßung statt; nähert man dem Nordpole den Südpol oder umgekehrt, so tritt eine Anziehung ein. Hieraus folgt:

Gleichnamige Magnetpole stoßen einander ab, ungleichnamige ziehen einander an.

Ein vom Magnet angezogenes Stück Eisen, das er eben zu tragen vermag (Fig. 240), fällt ab, wenn man dem anziehenden Pole den ungleichnamigen Pol eines anderen Magnets nähert, während es bei Annäherung des gleichnamigen Poles stärker festgehalten wird. — Zur Erklärung des gegensätzlichen Verhaltens der Magnetpole nimmt man an, daß in jedem Magnet zwei verschiedene magnetische Kräfte wirken; man unterscheidet **Nord-** und **Südmagnetismus.**

Fig. 240.



Ein Stahlstäbchen wird durch Berührung mit einem Magnetpole selbst magnetisch (Fig. 241), und zwar entsteht da ein Südpol, wo es den Nordpol, und da ein Nordpol, wo es den Südpol des Magnets berührt. Ein Eisenstab zeigt diese Erscheinung nur so lange, als er sich in der Nähe des Magnets befindet. Streicht man einen Stahlstab mit einem Magnet (Fig. 242), so wird er stärker magnetisch, als durch bloße Berührung.

Fig. 241.

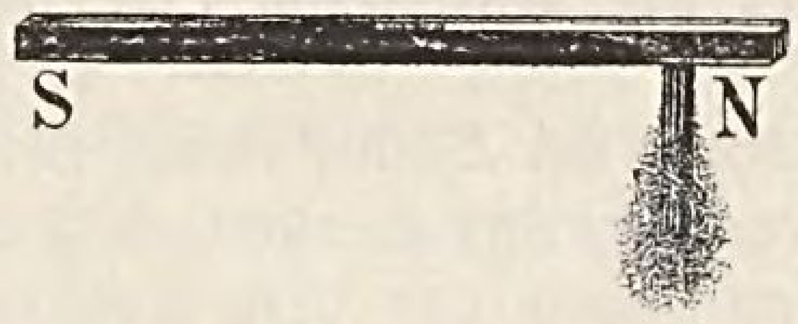
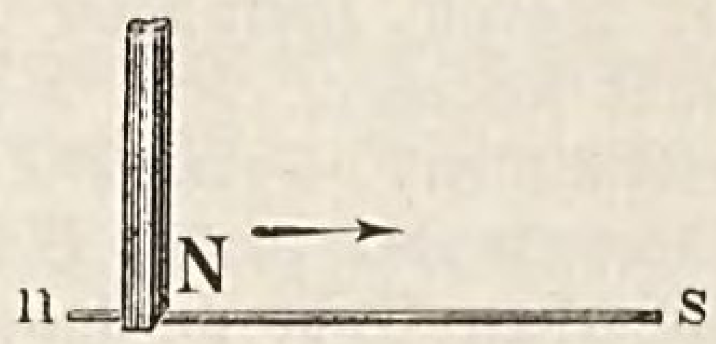



Fig. 242.




Eisen und Stahl werden durch die bloße Annäherung eines Magnetpoles selbst magnetisch, und zwar erhält der dem Magnetpole zugewandte Teil den ungleichnamigen, der von ihm abgewandte Teil den gleichnamigen Pol: **magnetische Verteilung.**

Weiches Eisen wird leicht magnetisch und nach der Entfernung des Magnetpoles wieder unmagnetisch. Stahl wird schwer magnetisch, behält aber seine magnetische Kraft.

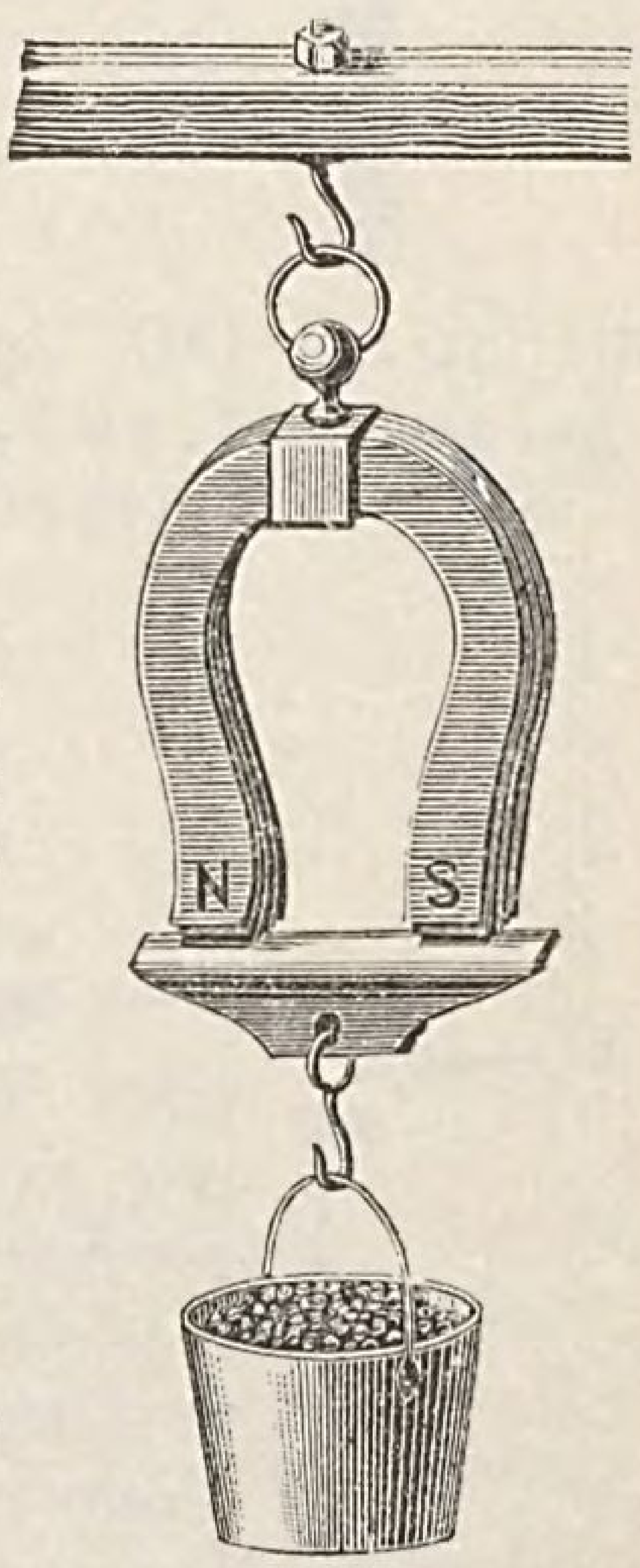
Aus der magnetischen Verteilung folgt, daß die Anziehung zwischen einem Magnet und Eisen (Stahl) auf die Wechselwirkung der ungleichnamigen Magnetpole zurückzuführen ist, indem der Anziehung eine magnetische Verteilung vorhergeht. Da ein Magnet genauen Untersuchungen zufolge von seinem Magnetismus nichts verliert, indem er Eisen magnetisch macht, so nimmt man an, daß Eisen von Natur beide Magnetismen enthalte, diese aber derart aufeinander einwirken, daß sie nach außen keine Wirkung hervorbringen können. Der Einfluß des Magnets besteht hiernach darin, die magnetischen Kräfte nach außen wirksam zu machen.

Auf der magnetischen Verteilung beruht die Magnetisierung von Magnetnadeln, die man zu diesem Zwecke von ihrer Mitte aus bis zu den Enden mit 2 gleichstarken ungleichnamigen Magnetpolen streicht (Fig. 243).

Fig. 243.



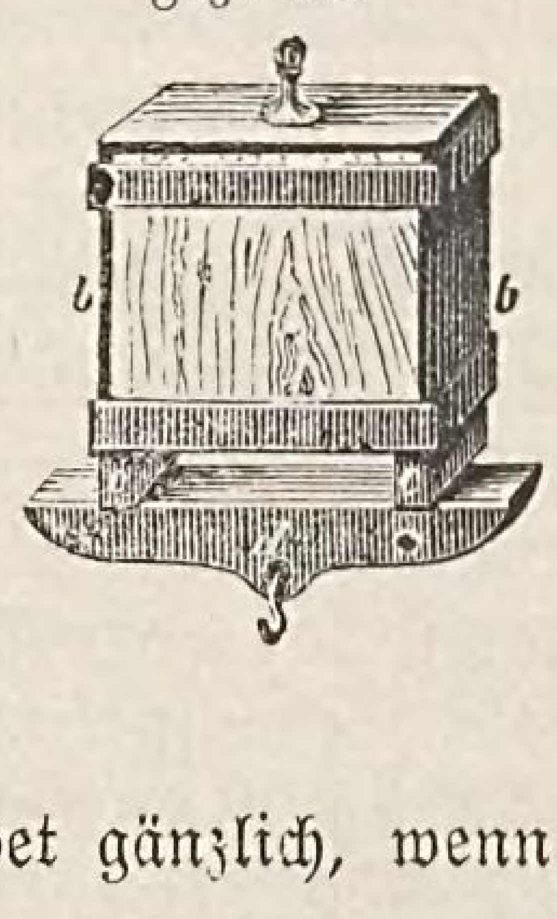

Fig. 244.




Die Erfahrung lehrt, daß auch durch bloße Erschütterung, wenn sich diese oft wiederholt, Stahlstäbe magnetisch werden. Stählerne Werkzeuge z. B. werden durch Hämmern, Feilen, Bohren u. s. w. magnetisch.

Um möglichst kräftige Magnete zu erhalten, setzt man mehrere dünne, hufeisenförmige Magnete zu einem einzigen Magnet zusammen, indem man die gleichnamigen Pole aufeinander legt (Fig. 244). Die Pole des mittleren Magnets läßt man zum Anlegen des Ankers etwas vorstehen und die übrigen treppenförmig zurücktreten. Solche zusammengesetzte Magnete werden **magnetische Magazine** genannt.

Fig. 245




Natürliche Magnete werden dadurch in zweckmäßiger Weise zum Tragen eingerichtet, daß man an ihnen zwei Stäbe von weichem Eisen befestigt, deren Enden zum Anlegen eines Ankers ein wenig vorstehen (Fig. 245).

Der Magnetismus eines Magnets verschwindet gänzlich, wenn der Magnet bis zum Glühen erhitzt wird.

**Übungsstoff.** 1. Wie läßt sich untersuchen, ob ein Stahlstäbchen, etwa eine Stricknadel, magn. ist, a. mit Hülfe eines dünnen Fadens oder eines leichten Schwimmers (Einrichtung desselben!), b. mit Eisenfeilspänen, c. mit einer Magnetnadel? — 2. Weshalb eignet sich dabei ein ungedrehter Faden am besten zum Aufhängen des Magnets? — 3. Warum kann man aus der Anziehung, die ein K. auf eine Magnetnadel ausübt, noch nicht schließen, daß der K. magn. ist? — 4. Wie lassen sich die Pole eines Magnets bestimmen? — 5. Die Lage der Indifferenzstelle eines Magnetstabes soll mit Hülfe einer Magnetnadel in der Weise bestimmt werden, daß man den Stab in senkrechter Richtung vom äußersten Ende an langsam etwa vor dem Nordpole der Nadel auf- oder abbewegt. Welche Erschn. werden dabei eintreten, und woran ist die Indifferenzstelle zu erkennen? — 6. Welchen Einfluß wird die Größe des Abstandes zwischen Nadel und Stab auf die Ersch. ausüben? — 7. Was tritt ein, wenn Eisen oder Stahl einem Magnetpole bis zur Berührung genähert wird? (Vergleich mit der Annäherung eines kalten K. an einen warmen!) — 8. Man will mittelst eines Magnets a. aus kleinen Eisenringen, b. aus Stahlringen eine Kette herstellen; wie ist dies auszuführen? — 9. Was würde eintreten, wenn man die Glieder der Kette bis zum Glühen erhitzte? — 10. Wie kann man mit einem Magnet untersuchen, ob eine Stricknadel, eine Messerklinge oder dergl. aus Stahl oder aus weichem Eisen besteht? — 11. Warum ist die Tragkraft der Hufeisenmagnete größer als die der Stabmagnete? — 12. Warum lassen sich Messing, Kupfer oder andere Metalle zum Anker eines Magnets nicht verwenden?

---

## § 73*. Erdmagnetismus.

Die Erscheinung, daß eine Kompaßnadel in ihrer Ruhelage nach Norden und Süden zeigt, ist überall auf der Erde wahrzunehmen. Bei einer Reise von Westen nach Osten (oder umgekehrt) würden daher die Stellungen der Nadel mit den in Fig. 246 angedeuteten eine gewisse Übereinstimmung zeigen.

Fig. 246.

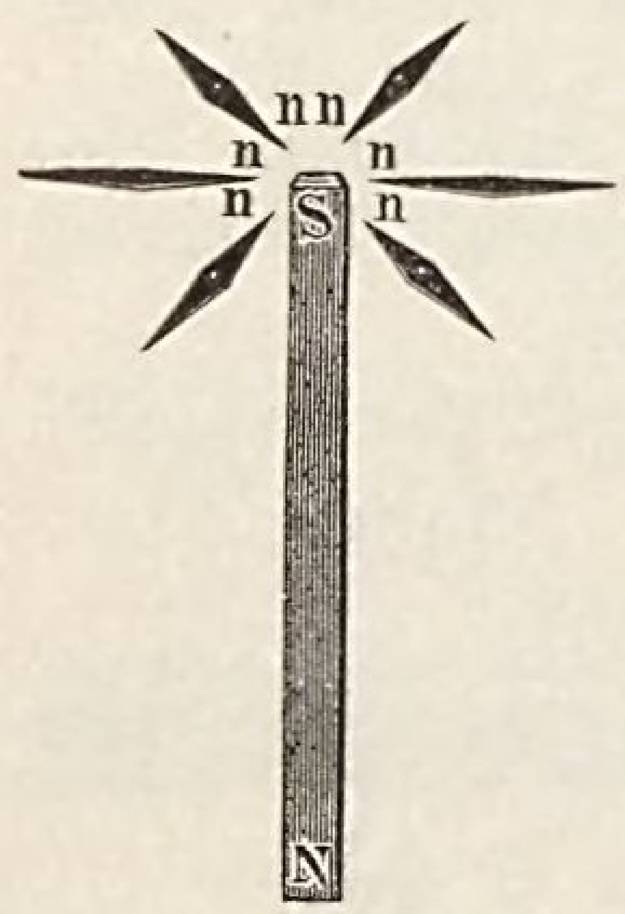
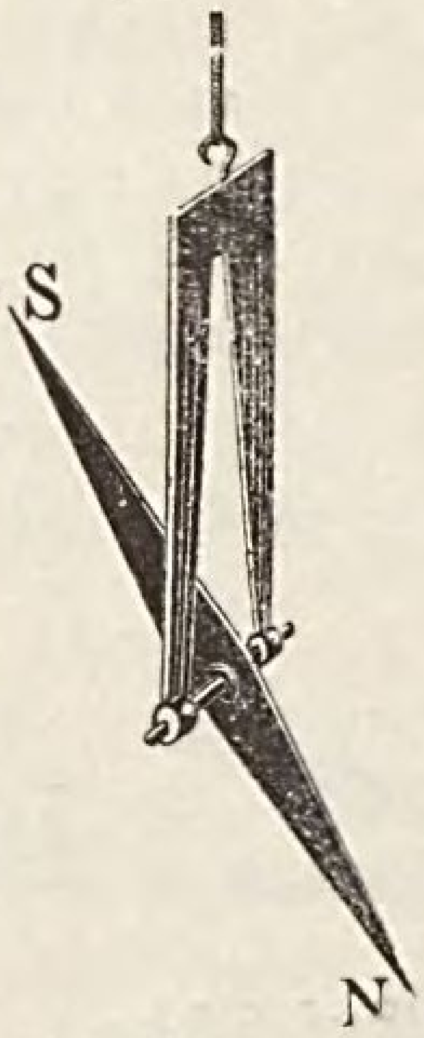



Fig. 247.




Wird eine Magnetnadel in der Nordsüdrichtung so aufgehängt, daß sie sich in senkrechter Ebene um eine durch ihren Schwerpunkt gehende Achse drehen kann, so neigt sich der Nordpol stark abwärts (**Inklinationsnadel**, Fig. 247). Die gleiche Stellung nimmt die Nadel auch ein, wenn man die Schere, in der sie aufgehängt ist, mit ihr um 180 dreht. — In der Äquatorgegend steht die Inklinationsnadel wagerecht; sie neigt sich aber um so mehr, je weiter man sich mit ihr vom Äquator entfernt, wobei auf der nördlichen Halbkugel der Nordpol, auf der südlichen der Südpol abwärts gerichtet ist (vergl. auch Fig. 248).

Fig. 249.

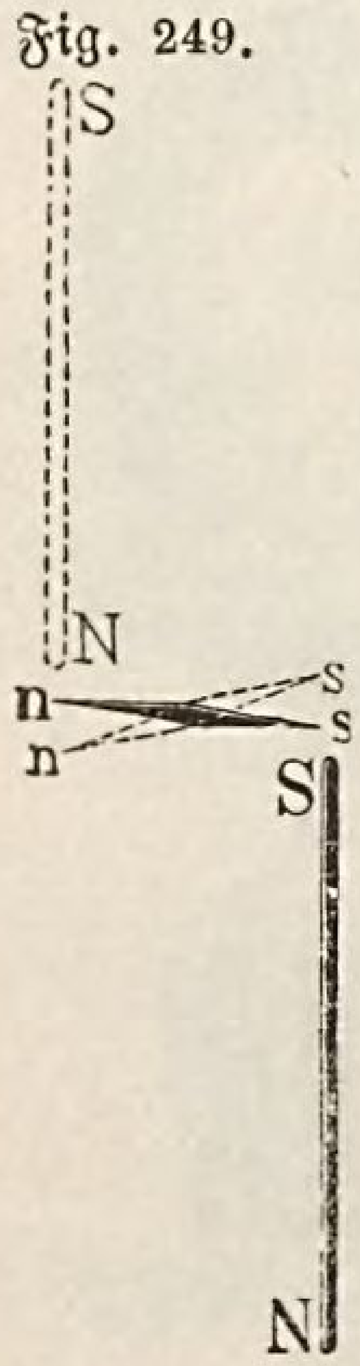
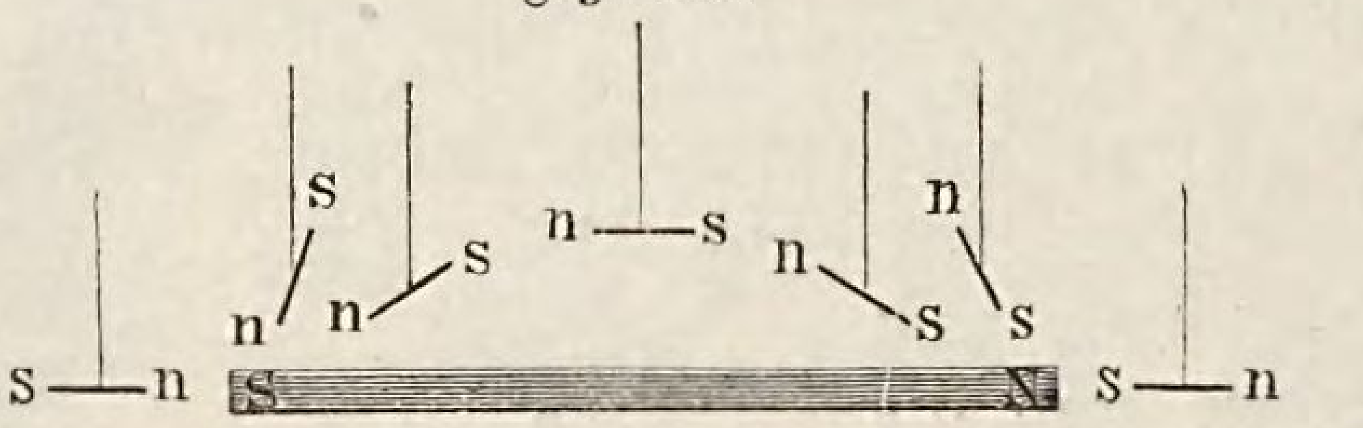



Fig. 248.




Es läßt sich ferner nachweisen, daß die Erde nicht nur einer Magnetnadel eine bestimmte Richtung erteilt, sondern auch wie ein Magnet selbst die magnetische Kraft im Eisen hervorzurufen vermag. Aufrecht stehende Eisenstangen, z. B. eiserne Fensterstangen, Gasröhren, eiserne Träger sind stets an ihrem unteren Ende schwach nordmagnetisch, am oberen Ende südmagnetisch. Nähert man einer Magnetnadel einen Stab aus weichem Eisen (Fig. 249), indem man ihn zunächst wagerecht von O. nach W. gerichtet hält, so erweist er sich als unmagnetisch. Hält man ihn darauf senkrecht oder schräg abwärts nach N., so verwandelt sich das untere Ende in einen Nordpol, das obere Ende in einen Südpol. In seine ursprüngliche Lage gebracht, zeigt er sich wieder unmagnetisch. — Aus allem folgt:

Die Erde wirkt wie ein Magnet, und zwar ist ihre nördliche Hälfte südmagnetisch, die südliche nordmagnetisch.

Nur an wenigen Orten der Erde ist die Magnetnadel ganz genau nach N. und S. gerichtet; meistens weicht sie etwas nach O. oder W. ab. In Deutschland ist die Abweichung eine westliche. — Die Abweichung der Magnetnadel von der Nordsüdrichtung wird magnetische Deklination, die Abweichung von der wagerechten Richtung Inklination genannt.

Im Jahre 1831 wurde vom Kapitän Roß auf der Halbinsel Boothia Felix, zwischen Nordamerika und dem geographischen Nordpole, der **magnetische Südpol der Erde** entdeckt. Die Inklinationsnadel stand hier senkrecht, mit dem Nordpole nach unten. Beim Umfahren des Poles zeigte eine in wagerechter Ebene drehbare Nadel mit dem Nordpole immer nach demselben Punkte. Zehn Jahre später fand man die Lage des **magnetischen Nordpoles der Erde** auf dem Südpolarlande zwischen Neuholland und dem geographischen Südpole.

---

**Übungsstoff.** 1. Ein unmagn. Stahlstab, etwa eine Stricknadel, werde an einem Faden wagerecht aufgehängt. Was wird eintreten, wenn man die Nadel magnetisiert und sie dann wieder aufhängt, ohne den Befestigungspunkt des Fadens zu verschieben? — 2. Welcher falsche Schluß könnte hieraus leicht gezogen werden in betreff des Gewichtes der beiden Hälften der Nadel? — 3. Wodurch unterscheiden sich daher die Lagen der Unterstützungspunkte einer Deklinationsnadel und eines Wagebalkens wesentlich voneinander? — 4. Wird eine solche Nadel bis zum Glühen erhitzt und dann wieder aufgehängt, so hängt sie schief. Was folgt daraus? — 5. Welchen Pol mußte wohl das herabhängende Ende vorher bilden? — 6. Warum muß die Inklinationsnadel in ihrem Schwerpunkte aufgehängt werden? — 7. Wie muß sich die Stellung der Inklinationsnadel ändern, wenn man diese wiederholt um 90° so dreht, daß ihre Schwingungsebene a. von O. nach W., b. von S. nach N. gerichtet ist? — 8. Was führt zu dem Schlusse, a. daß die Erde überhaupt wie ein Magnet wirkt, b. daß die Nordhälfte der Erde Südmagnetismus und die Südhälfte Nordmagnetismus enthält? — 9. Eiserne Stangen, die längere Zeit eine aufrechte Stellung gehabt haben, sind gewöhnlich schwach magnetisch. Wie ist dies zu erklären und wie nachzuweisen? — 10. Welches Ende der Stangen bildet den Nord- und welches den Südpol? — 11. Welche entsprechenden Erscheinungen müssen sich auf der südlichen Erdhälfte zeigen?

# 7. Abschnitt.

# Von der Elektricität.

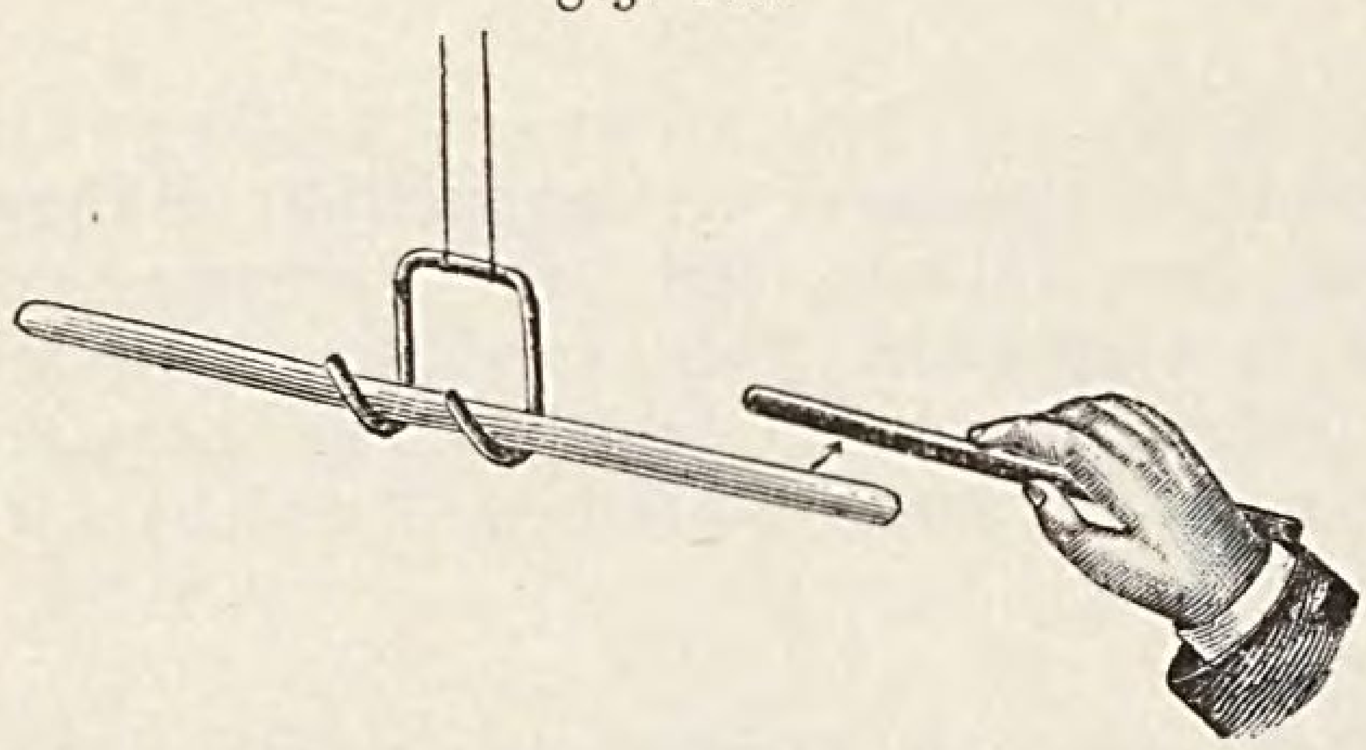
## A. Reibungs-Elektricität.

**§ 74. Elektrische Grunderscheinungen. Elektroskope.** Um die Mitte des vorigen Jahrhunderts gelang es, die Naturerscheinung des Gewitters auf ihre Ursache zurückzuführen. Die Vermutung, daß das Gewitter eine elektrische Erscheinung sein möchte, war zwar schon früher ausgesprochen worden, aber erst Franklin, der Erfinder des Blitzableiters, erbrachte den Nachweis hierfür. Zu diesem Zwecke ließ er während eines Gewitters einen aus Seidenzeug verfertigten Luftdrachen aufsteigen, dessen oberes Ende mit einer Metallspitze versehen war. Am unteren Ende der Hanfschnur des Drachens hing ein Schlüssel. Die Hanfschnur selbst wurde an einer seidenen Schnur festgehalten. Als Franklin dem

Schlüssel einen Fingerknöchel näherte, sprangen Funken über, die von einem schwachen Knalle begleitet waren.

Ähnliche Erscheinungen lassen sich im kleinen dadurch hervorrufen, daß man gewisse Körper (z. B. einen Glas-, Siegellack- oder Hartgummistab) mit einem wollenen oder seidenen Lappen kräftig *reibt* und ihnen darauf einen Fingerknöchel nähert. Man hört ein *Knistern* und sieht im Dunklen zwischen Finger und Stab kleine Funken überspringen.

Fig. 250.



Wird der geriebene Stab wagerecht so aufgehängt, daß er sich leicht drehen kann (Fig. 250), und nähert man ihm sodann die Hand oder einen anderen Körper, so erfolgt eine *Anziehung*. — Dieselbe Wirkung tritt auch ein, wenn man den geriebenen Stab leicht beweglichen, nicht geriebenen Körpern nähert. — Sehr leichte Körper, wie Papierschnitzelchen u. dgl., werden nicht nur *angezogen*, sondern gewöhnlich auch wieder *abgestoßen*.

*Das, was den geriebenen Körpern die Kraft der Anziehung und Abstoßung* (elektrische Kraft) *verleiht*, wird **Elektricität** *genannt*. Da von allen elektrischen Wirkungen die Anziehung am leichtesten erfolgt, so sagt man: *Körper, welche beliebige leicht bewegliche Gegenstände anzuziehen vermögen, sind* **elektrisch.**

Durch *Reiben* wird Elektricität erregt. Elektrische und unelektrische Körper *ziehen sich gegenseitig an*; diese Wirkung ist um so stärker, je mehr die Körper einander genähert werden.

Im Altertum kannte man nur die el. Eigenschaft des geriebenen *Bernsteines* (von den Griechen *Elektron* genannt). Ums Jahr 1600 wurde von dem Arzte *Gilbert* in London die Entdeckung gemacht, daß außer Bernstein noch andere Körper den el. Zustand annehmen können. Jetzt weiß man, daß alle Körper durch Reiben elektrisch werden (manche, wie z. B. Bernstein, Siegellack, Hartgummi, ohne besondere Vorkehrungen).

*Um Elektricität bequem und sicher nachweisen zu können bedient man sich gewisser Instrumente*, welche **Elektroskope** genannt werden. Diese bilden in ihrer einfachsten Einrichtung entweder ein leichtes **Fadenpendel** (Seidenfaden mit Holundermarkkügelchen, Fig. 251), oder ein leichtes stabförmiges **Horizontalpendel** (z. B. Hartgummistäbchen mit Holundermarkkügelchen, Fig. 252). Bei Annäherung eines el. Körpers erfolgt zuerst eine Anziehung und

Fig. 251.

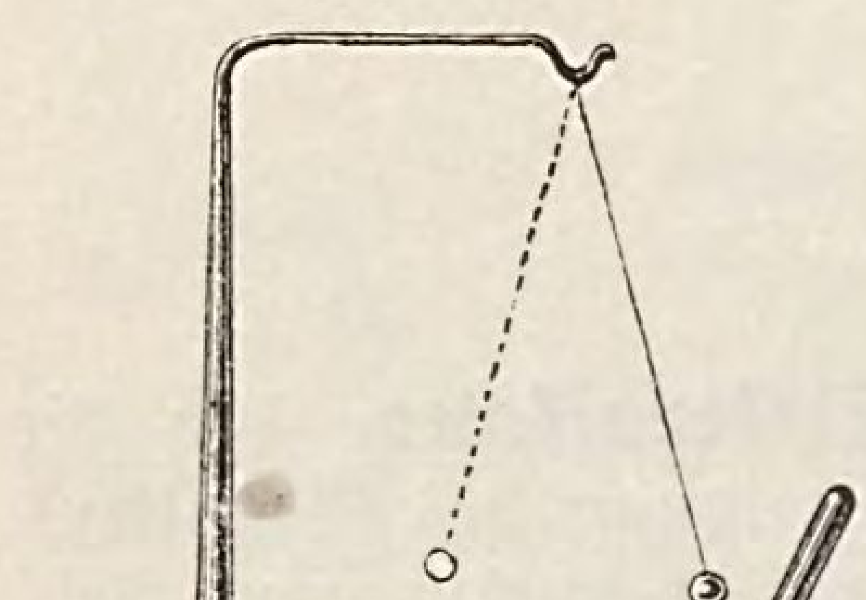


Fig. 252.

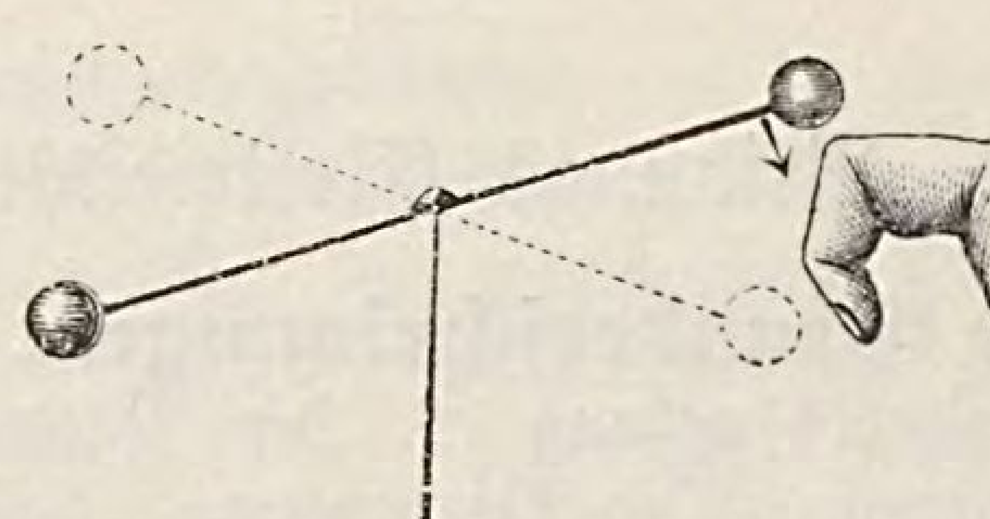
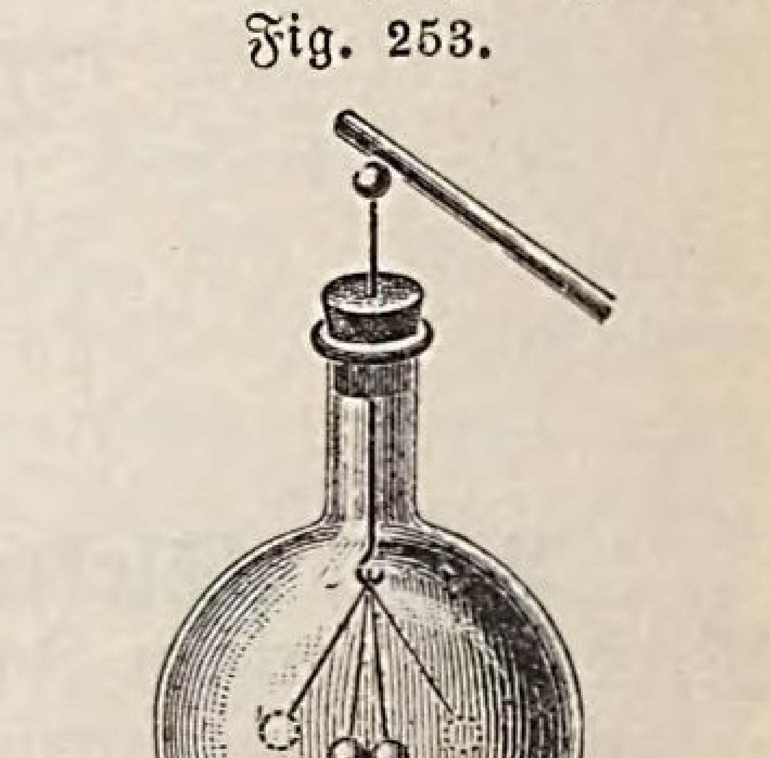


Fig. 253.



dann eine Abstoßung des Kügelchens. — Statt des einfachen Pendels kann man auch das **el. Doppelpendel** anwenden. Dieses besteht aus zwei kurzen Leinenfäden mit Markkügelchen oder Papierblättchen (Fig. 253), oder aus 2 Stückchen

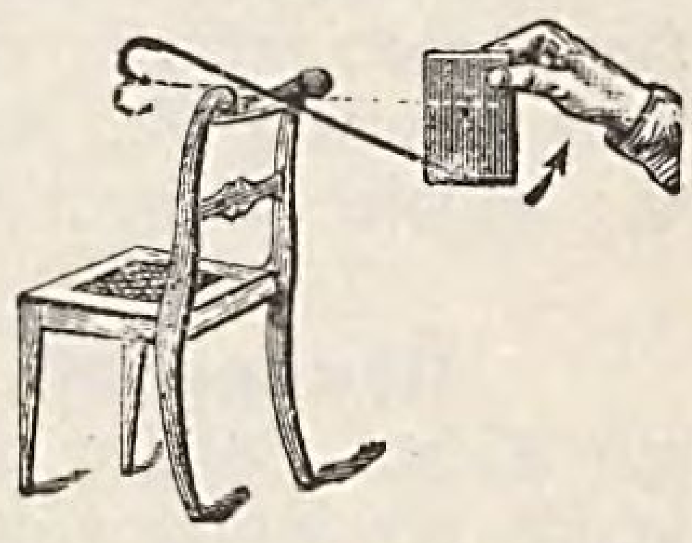
von einem Strohhalme, oder endlich aus 2 schmalen Streifen von dünnem Blattgolde oder Aluminium, die in einem Glasballon an einem Kupfer- oder Messingdrahte aufgehängt sind (Goldblatt-Elektroskop). Der Draht endet oben in eine Metallkugel.

Mit einem Elektroskope läßt sich leicht nachweisen, daß einem Körper durch Berührung mit einem el. Körper Elektricität mitgeteilt werden kann.

---

**Übungsstoff.** 1. Ein Stückchen Bernstein soll el. gemacht werden. Wie läßt sich dies ausführen, und wie kann man die erregte E. nachweisen? — 2. Ein Blatt Papier bleibt an einem warmen Ofen hängen, wenn man es an demselben einigemal mit trockener Hand streicht; es gehört sogar eine merkliche Kraft dazu, das Blatt vom Ofen wieder zu trennen. Nähert man ihm darauf einen Fingerknöchel, so bewegt es sich demselben entgegen und man hört ein Knistern. Erkl.! — 3. Fig. 254 stellt eine Ersch. dar, die sich leicht mit einem Blatte Papier (siehe Frage 2) hervorrufen läßt; welche? — 4. Welche Ersch. zeigt das Haar eines Menschen, wenn man dem Kopfe einen stark el. K. genügend nähert? — 5. Wenn man Katzen, die längere Zeit neben einem warmen Ofen gelegen haben, über den Rücken streicht, so hört man zuweilen ein Knistern. Wie läßt sich dies erklären? — 6. Warum lassen sich mit einem el. Stabe nicht, wie mit einem Magnet, Eisenfeilspäne von Spänen anderer Metalle scheiden? — 7. Was wird eintreten, wenn man einen el. Stab über die Blätter eines aufgeschlagenen Buches hält, oder dem feinen Wasserstrahle eines Heronsballes nähert? — 8. Warum werden die Blattgoldstreifen eines Elektroskopes in einem Glasballon aufgehängt? — 9. Wie kann man sich ein Elektroskop (nach Fig. 253) in einfacher Weise selbst herstellen?

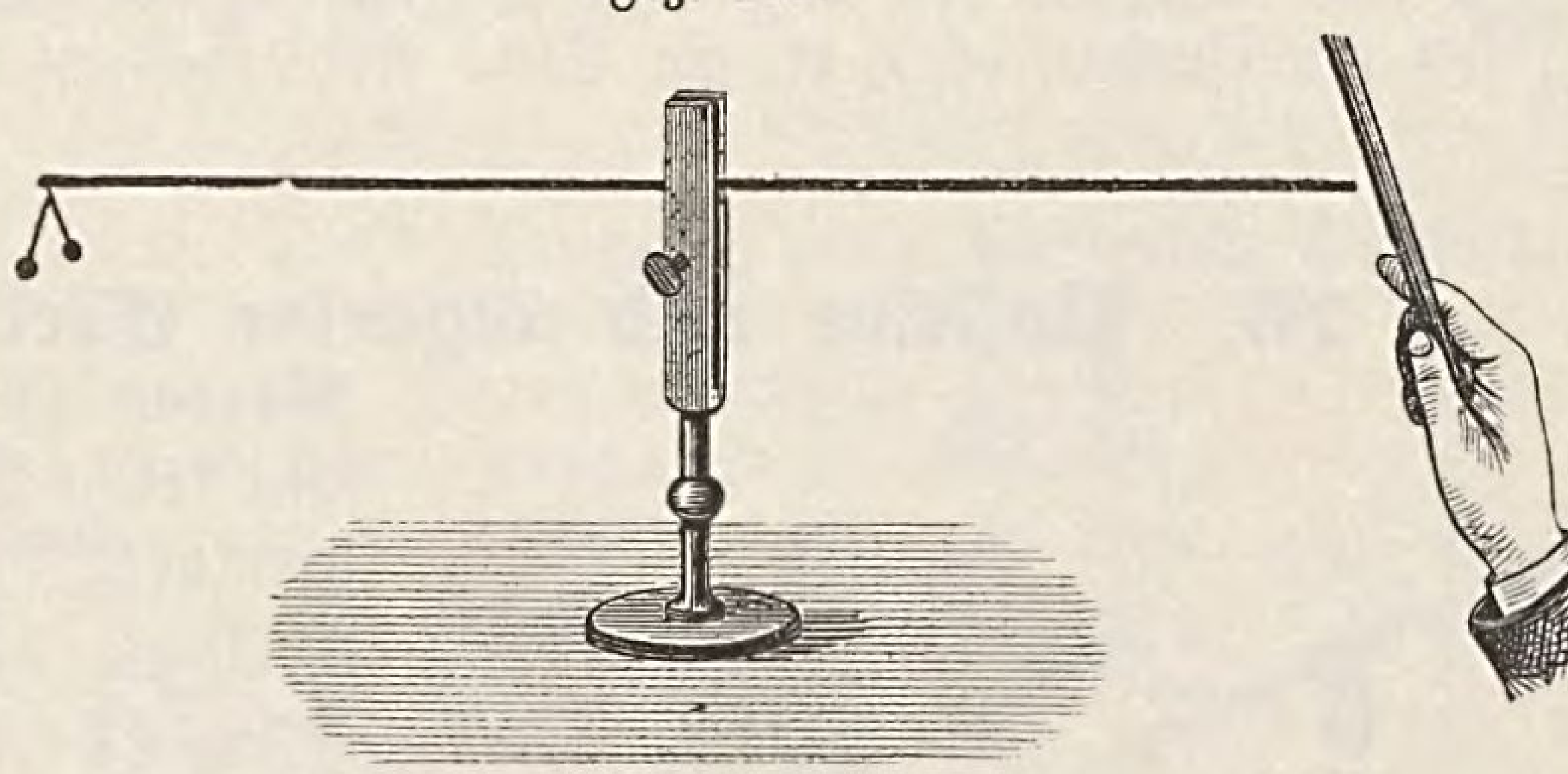
Fig. 254.



---

**§ 75. Leitung der Elektricität.** Teilt man einem metallischen Körper von größerer Ausdehnung, etwa einem an den Enden abgerundeten Kupfer- oder Messingdrahte (Fig. 255), in irgend einem Punkte E. mit, so wird er überall el., wenn er an seiner Befestigungsstelle etwa mit Kautschuk, Lack oder Seide umgeben ist und nicht durch den menschlichen Körper (Berührung mit dem Finger) oder z. B. durch Metall, Holz oder Hanfschnur mit dem Erdboden in Verbindung steht. Sobald eine derartige Verbindung mit dem Erdboden hergestellt wird, verschwindet die E. wieder. — Ein el. Glas-, Hartgummi- oder Siegellackstab dagegen wird nur an der berührten Stelle el. und verliert seine E. durch eine Berührung auch nur an der berührten Stelle.

Fig. 255.



Manche Körper vermögen die E. leicht aufzunehmen, schnell fortzuleiten und, wenn sie ableitend berührt werden, wieder vollständig zu verlieren: **gute Elektricitätsleiter**; andere werden durch Berührung mit einem el. Körper nur an der berührten Stelle el. und verlieren ihre E. bei ableitender Berührung auch nur an der berührten Stelle: **schlechte Elektricitätsleiter.**

Mit Hilfe des in Fig. 255 dargestellten einfachen Apparates lassen sich beliebige Körper auf ihr el. Leitungsvermögen dadurch prüfen, daß man sie mit dem el. gemachten Drahte in Berührung bringt. Je nachdem der Ausschlag des Doppelpendels plötzlich oder allmählich abnimmt, ist das Leitungsvermögen des Körpers groß oder gering. Ändert sich

der Ausschlag nicht, so vermag der Körper die E. überhaupt nicht zu leiten. In gleicher Weise läßt sich auch das Elektroskop (Fig. 253) benutzen.

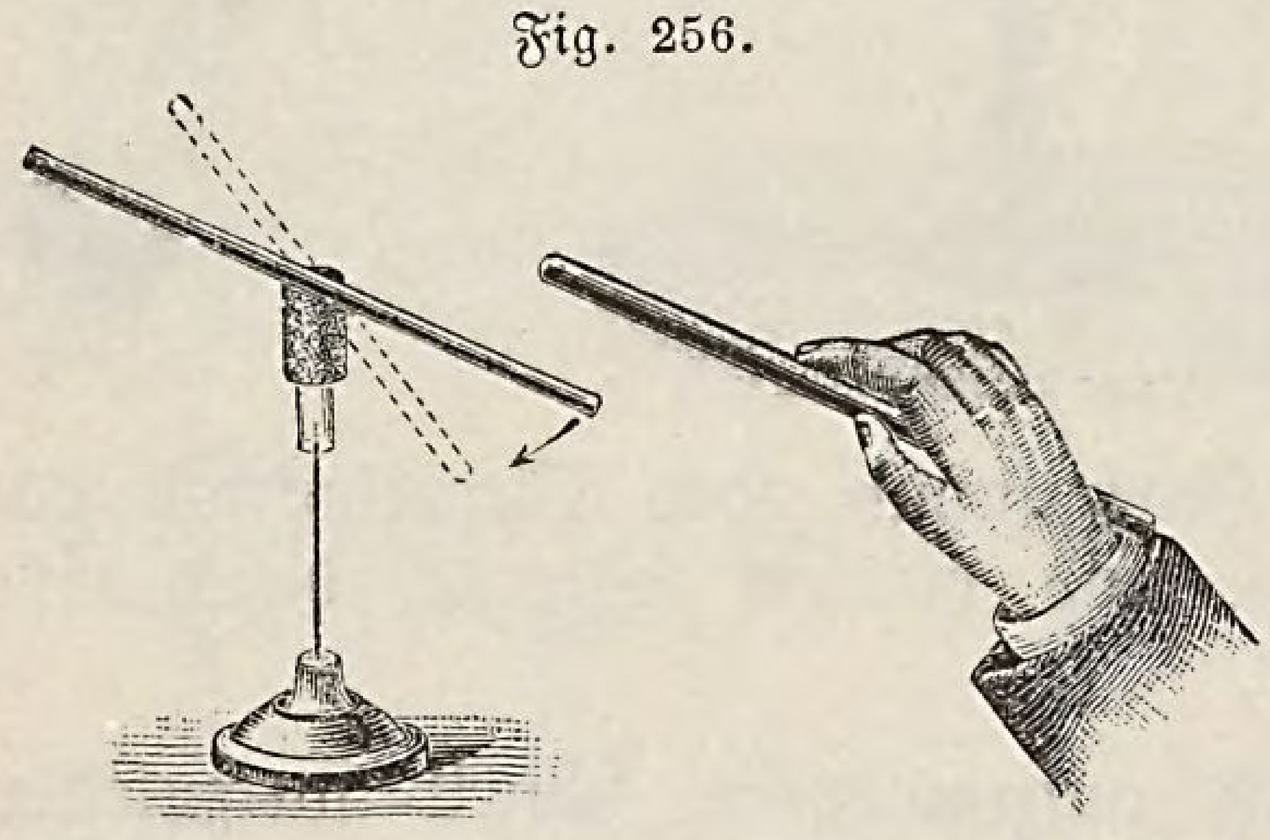
Die besten E.s-Leiter sind die Metalle, namentlich Silber und Kupfer; dann folgen Kohle, wässerige Lösungen von Salzen, sowie der menschliche und tierische Körper, feuchtes Erdreich und feuchte Luft. Schlechte Leiter sind Bernstein, Siegellack, Kautschuk, Hartgummi, Schwefel, manche Glassorten, Porzellan, Seide, Haare, Wolle und trockene Luft. — Einige Körper, wie Steine, trockenes Holz, trockene Pflanzenfaser (Leinen, Hanf), Papier u. a. bezeichnet man als Halbleiter.

Ein guter Leiter muß, um el. Erscheinungen zeigen zu können, isoliert, d. h. ringsum von schlechten Leitern (**Isolatoren**) umgeben sein, denn wenn auch die Luft bei genügender Trockenheit der Fortpflanzung der E. einen großen Widerstand entgegensetzt, so kann ein guter Leiter doch nicht el. erscheinen, wenn er z. B. mit der Hand oder mittelst einer Vorrichtung gehalten wird, die aus leitenden Stoffen besteht. Eine Münze z. B., die mit der Hand gehalten und an Pelzwerk gerieben wird, zeigt keine E.; sie wird dagegen stark el., wenn man sie an eine Siegellackstange kittet und dann reibt.

**Übungsstoff.** 1. Eine glühende Kohle erkaltet schneller auf einer Metallplatte als auf Asche. Erkläre dies und führe ähnliche Beispiele über el. Erschn. an. — 2. Warum mußte der Draht (Fig. 255) an seiner Befestigungsstelle isoliert werden? — 3. Ein aus Leinenfäden und Holundermarkkügelchen bestehendes Pendel erscheint nach der Berührung mit einem el. K. stets unel., wenn es an einem Drahte hängt, der auf einem Holzfuße (Fig. 251) befestigt ist, dagegen el., wenn der Fuß des Stativs aus Htg. oder der Faden aus Seide besteht. Erkl.! — 4. Was für Fäden müssen zu dem el. Doppelpendel (Fig. 253 und 255) benutzt werden? — 5. Angenommen, man befestigte auf den beiden Spitzen einer Magnetnadel ein kurzes Htg.-Stäbchen und auf jedem dieser Stäbchen ein Holundermarkkügelchen. Ließe sich die Nadel dann statt einer el. Nadel benutzen, u. w.? — 6. Gesetzt, bei Annäherung eines Fingerknöchels werde das eine Kügelchen der el. Nadel aus geringerer Entfernung angezogen als das andere, was läßt sich daraus schließen? — 7. Was ferner, wenn dem unel. Kügelchen der Nadel nacheinander 2 el. Körper langsam genähert werden und dieselben aus ungleicher Entfernung eine Anziehung hervorbringen? — 8. Wie läßt sich untersuchen, ob z. B. ein Stück Radiergummi die E. leitet?

## § 76. Positive und negative Elektricität. El. Verteilung.

Fig. 256.



Werden zwei el. Körper, von denen der eine leicht beweglich ist (Fig. 256), einander genähert, so tritt (wie bei gegenseitiger Einwirkung zweier Magnete) entweder eine Anziehung oder eine Abstoßung ein. So stoßen z. B. zwei mit Seide oder Wolle geriebene Glas-, Hartgummi- oder Siegellackstäbe einander ab, während zwischen dem Glasstabe und dem Hartgummi- oder Siegellackstabe eine Anziehung erfolgt.

Zur Erklärung dieser Erscheinung nimmt man an, daß es zwei verschiedene Elektricitäten giebt, die man nach dem Vorschlage Franklins (1747) als **positive** oder **negative Elektricität** (+ oder —E.) bezeichnet. Erstere ist die im Glase durch Reiben mit Seide, letztere die im Harz, Hartgummi oder Siegellack durch Reiben mit Wolle erregte Elektricität. Über das gegenseitige Verhalten beider Elektricitäten gilt das Gesetz:

Gleichnamige Elektricitäten stoßen sich ab, ungleichnamige Elektricitäten ziehen sich an.

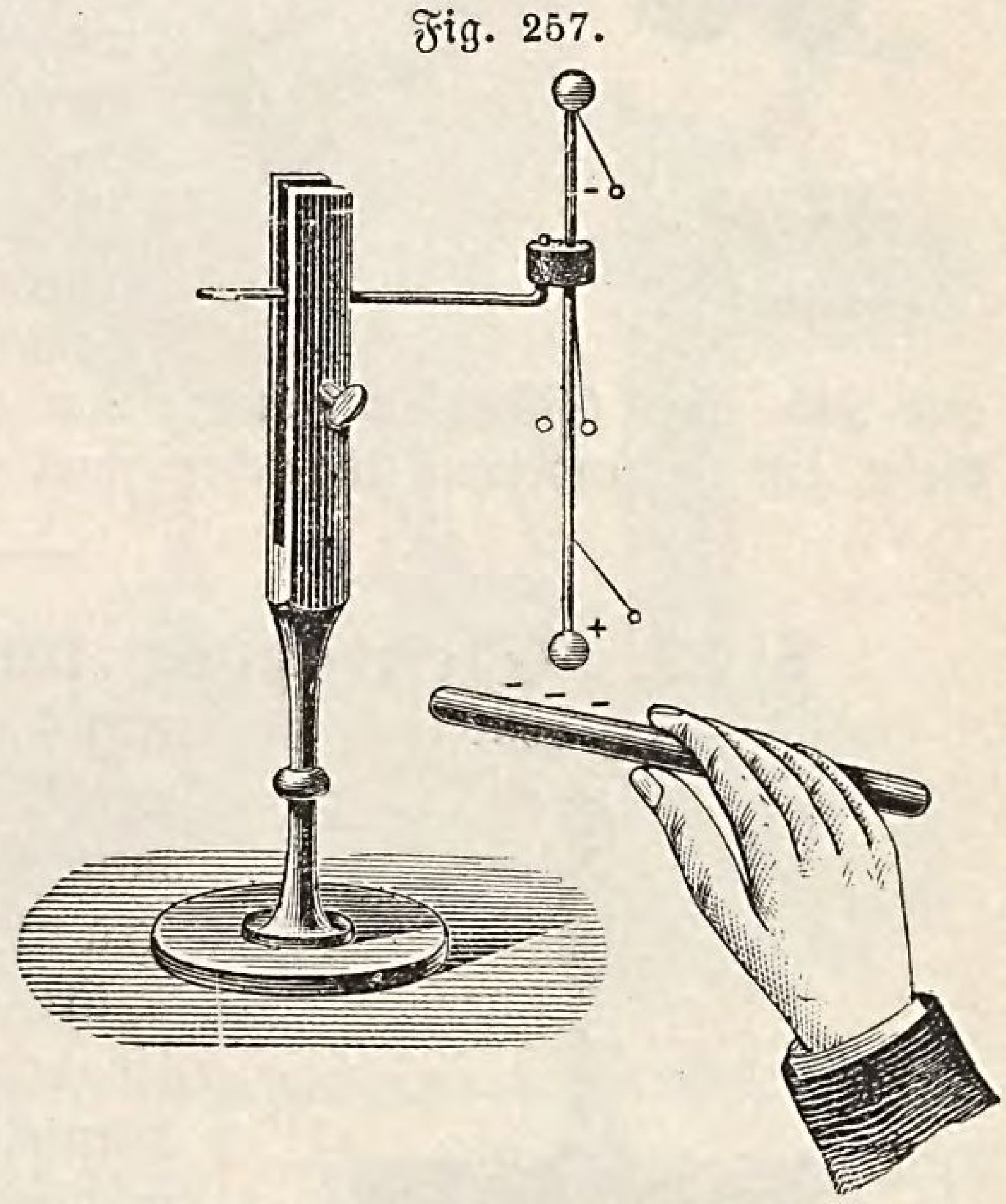
Durch die el. Abstoßung läßt sich mit dem einfachen el. Pendel untersuchen, ob ein el. Körper + oder —el., mit dem el. Doppelpendel, ob ein Körper el. oder unel. ist.

Wird ein leichtes Fadenpendel oder ein el. Doppelpendel durch Annäherung eines el. Stabes aus der Gleichgewichtslage gebracht, so läßt sich der Ausschlag durch Annäherung eines zweiten, gleichnamig el. Stabes vergrößern, durch Annäherung eines ungleichnamig el. Stabes verkleinern.

Die el. Wirkung wird durch die gleichnamige Elektricität verstärkt, durch die ungleichnamige Elektricität dagegen geschwächt.

Die Verstärkung oder Schwächung der el. Wirkung dient beim Doppelpendel-Elektroskope zur Untersuchung, ob ein Körper + oder —el. ist.

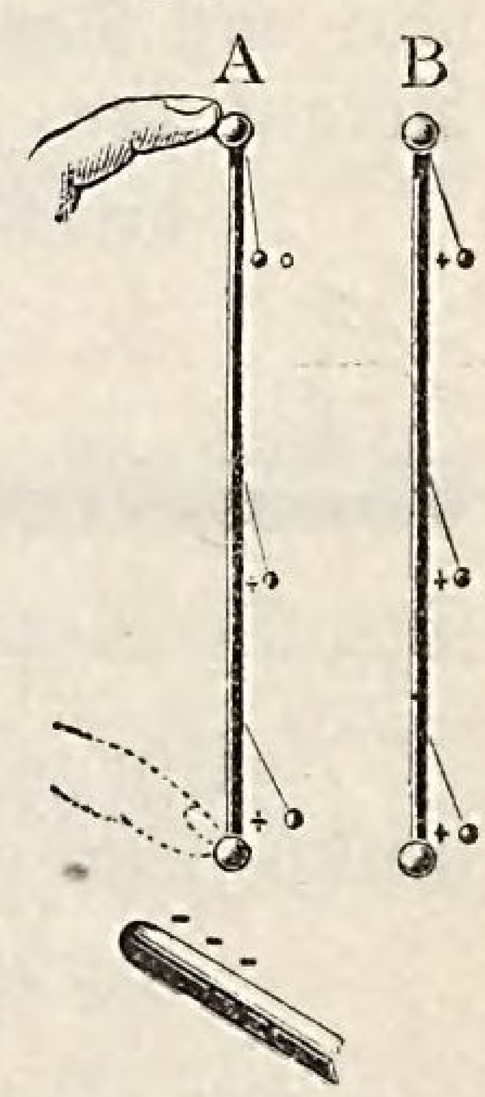
Fig. 257.



Wie in einem Eisenstabe durch Annäherung eines Magnetpoles stets beide Magnetismen erregt werden, so werden auch in einem guten Elektricitätsleiter (etwa in einem an den Enden abgerundeten Kupfer- oder Messingstabe, an dem an leitenden Fäden leichte Kügelchen hängen, Fig. 257) stets beide Elektricitäten erregt, wenn man dem einen Ende desselben einen el. Körper nähert. Der Elektricitätsleiter muß hierbei gut isoliert sein. Ist der Elektricitätserreger etwa —el., so wird der Leiter am zugewandten Ende +, am abgewandten —el.; in der Mitte bleibt er unelektrisch.

Gute E.s-Leiter werden durch die bloße Annäherung eines el. Körpers **zweifach elektrisch,** und zwar tritt auf dem vom E.s-Erreger abgewandten Teile die gleichnamige, auf dem ihm zugewandten Teile die ungleichnamige Elektricität auf. Dieser Vorgang heißt **elektrische Verteilung.**

Fig. 258.




Von den beiden erregten Elektricitäten läßt sich während der Einwirkung des Elektricitätserregers die abgestoßene (gleichnamige) vollständig, die angezogene (ungleichnamige) dagegen nur unvollständig oder gar nicht ableiten (Fig. 258), weil sie von der E. des Erregers festgehalten wird. Erstere nennt man deswegen **freie,** letztere hingegen **gebundene Elektricität.** (Ladung eines Doppelpendel-Elektroskops, Fig. 253, mit der entgegengesetzten E. des Erregers.) — Die angezogene E. läßt sich dadurch entfernen, daß man den Elektricitätserreger bis zur Berührung nähert. Hierbei vereinigt sich die angezogene E. mit ebensoviel E. des Erregers: **el. Ausgleichung.** Aus diesem Vorgange erklärt es sich, 1) daß ein Körper durch Berührung mit einem el. Körper gleichnamig el. wird, 2) daß bei einem leicht bewegbaren isolierten Körper, der die E. leitet, zunächst eine Anziehung, dann aber eine Abstoßung erfolgt (Fig. 251).

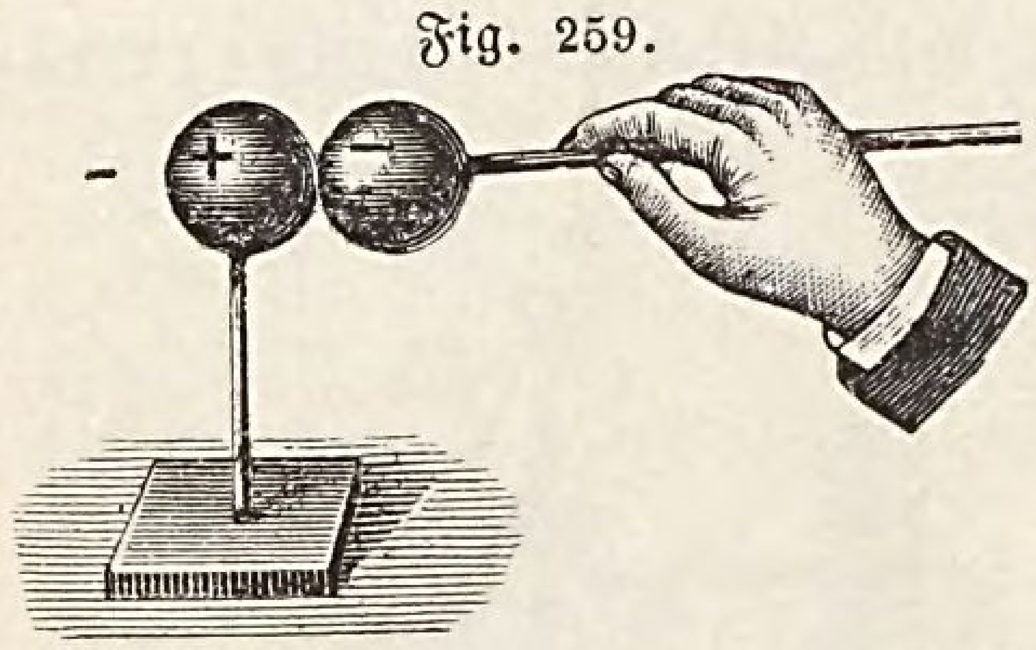
Die Erscheinungen der el. Verteilung zwingen zu der Annahme, daß jeder Körper von Natur beide Elektricitäten enthält; durch Reibung, sowie auch durch Annäherung eines el. Körpers (durch Verteilung) werden sie voneinander getrennt.

---

**Übungsstoff.** 1. Was wird eintreten, a. wenn man 2 leichten, isoliert nebeneinander hängenden Kügelchen + oder —E. mitteilt, b. wenn man das eine Kügelchen +, das andere —el. macht? — 2. Welche Ersch. erfolgt, wenn einer Magnetnadel ein +el. Stab genähert wird? — 3. Ein anderer K. rufe dieselbe Ersch. hervor. Warum darf

man dann nicht ohne weiteres schließen, daß dieser K. auch +el. sei? — **4.** Was würde eintreten, wenn man der Magnetnadel zunächst einen +el. K. und darauf, ohne diesen zu entfernen, den —el. Stab näherte? — **5.** Wie läßt sich mittelst des el. Pendels untersuchen, ob ein K. + oder —el. ist? — **6.** Welches von den beiden Kügelchen würde, wenn das eine —el., das andere unel. wäre, durch einen +el. Stab bei gleicher Annäherung am stärksten angezogen werden? — **7.** Wie kann man aus der Entfernung, bis zu welcher man dem el. Kügelchen (Fig. 252) den Fingerknöchel nähern muß, darauf schließen, ob das Kügelchen stark oder schwach el. ist? — **8.** Was würde sich ergeben haben, wenn man in Fig. 257 statt des Htg.-Stabes einen mit Wolle oder Seide geriebenen Glasstab angewandt hätte? — **9.** Man will mit einem el. Htg.-Stabe zwei Metallkugeln zugleich el. machen und zwar die eine +, die andere —el. Wie kann dies nach Fig. 259 ausgeführt werden? — **10.** Wie ist es zu erklären, daß ein isoliert aufgehängtes Kügelchen (Fig. 251) angezogen und abgestoßen, ein nicht isoliertes aber nur angezogen wird? — **11.** Inwiefern hängt es von dem Leitungsvermögen eines K. ab, ob durch einen E.s-Erreger eine starke oder eine schwache el. Verteilung eintreten kann? — **12.** Welchen Einfluß muß demnach das Leitungsvermögen darauf ausüben, wie stark ein el. K. einen unel. K. anzieht? — **13.** Erkläre hiernach, warum ein Kügelchen, das aus Htg. oder Siegellack besteht, von einem el. K. nur schwach angezogen wird, während dieser ein Holundermarkkügelchen stark anzieht?

Fig. 259.

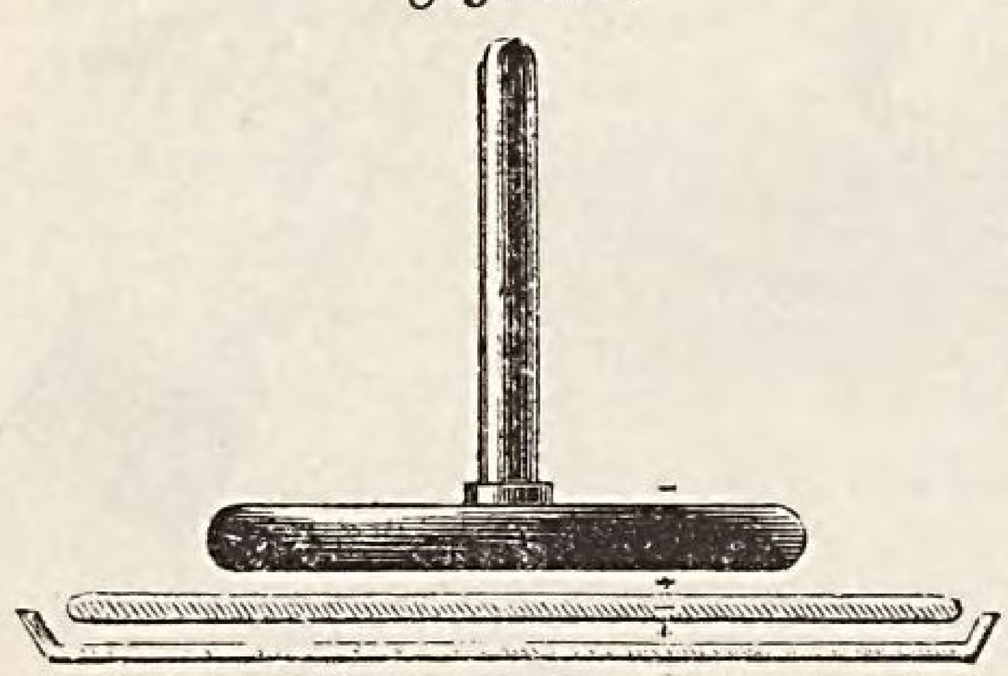


---

## § 77. Elektrophor und Elektrisiermaschine.

**a. Der Elektrophor** oder Elektricitätsträger (Fig. 260). Um durch Reibung in einfachster Weise größere Mengen von Elektricität zu erhalten, kann man eine aus Hartgummi oder Harzmasse bestehende Scheibe anwenden, die auf einem Metallteller liegt und nach ihrer Elektrisierung mit einem abgerundeten Deckel bedeckt wird. Dieser besteht entweder aus Metall oder aus Holz, das mit Stanniol überklebt ist; zum Abheben ist er mit einer isolierenden Handhabe versehen.

Fig. 260.



Beim Gebrauche wird die Scheibe des Elektrophors mit einem Fuchsschwanze oder mit Katzenfell kräftig gepeitscht und dann mit dem Deckel bedeckt. Hebt man hierauf den Deckel an der Handhabe wieder ab, nachdem man ihn ableitend berührt hat, so erhält man einen ziemlich kräftigen Funken, wenn man dem Rande des Deckels den Fingerknöchel nähert (Fig. 261). Bei Wiederholung des Verfahrens entsteht abermals ein Funke, ohne daß die Scheibe noch einmal gepeitscht zu werden braucht. Der Deckel wird dabei abwechselnd mit E. geladen und wieder entladen.

Fig. 261.



Ein zur Erklärung des Vorganges auf den Deckel gestelltes, leitendes Doppelpendel läßt erkennen, daß durch die —E. der Scheibe im Deckel eine el. Verteilung stattfindet, wobei die gleichnamige E. abgestoßen (Fig. 262), die ungleichnamige dagegen angezogen und erst nach der Berührung des Deckels beim Abheben desselben frei wird (Fig. 263). Bei der Entstehung des Funkens gleicht sich die freie +E. des metallenen Deckels mit der aus dem Finger angezogenen —E. aus.

Fig. 262.

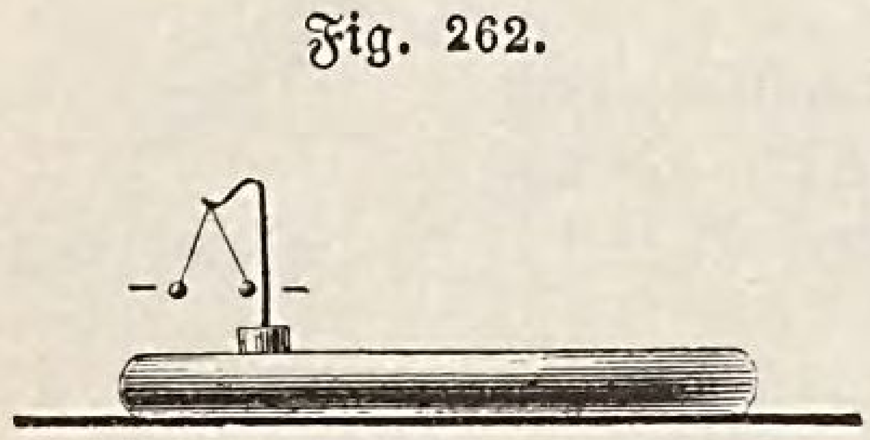
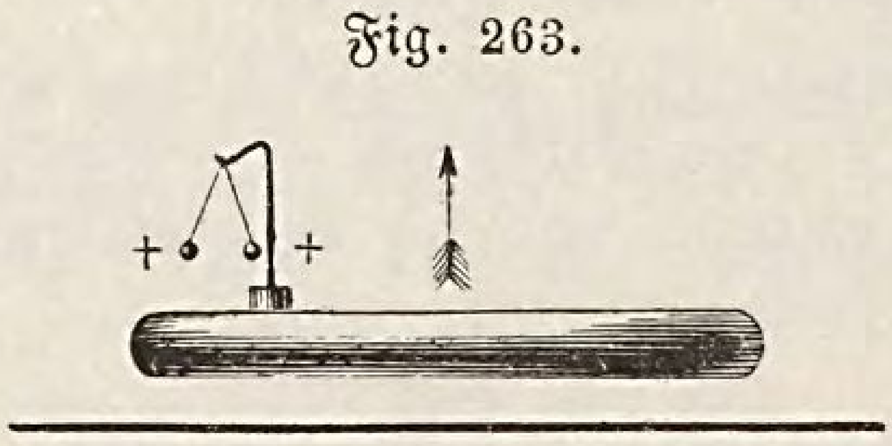


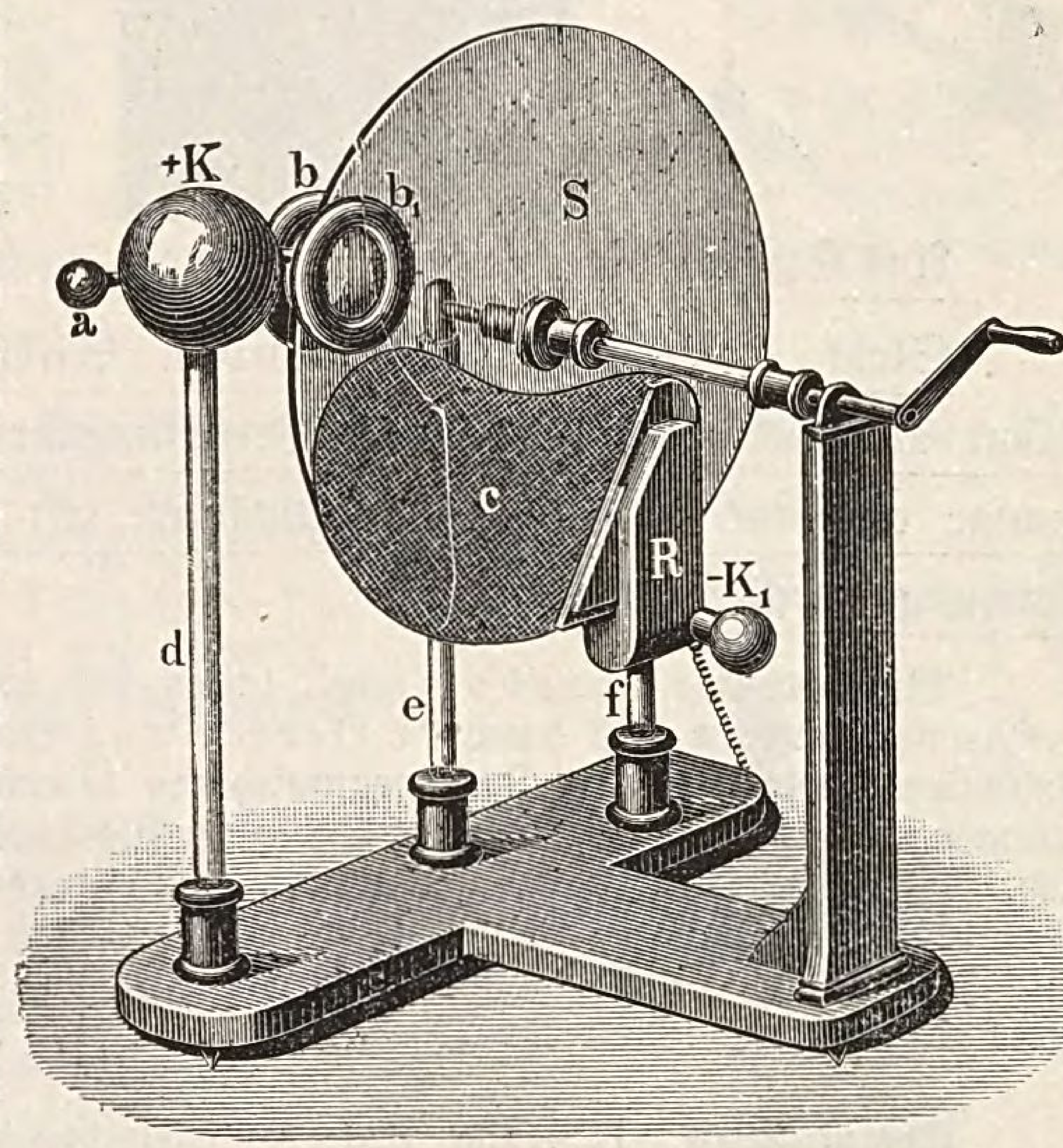
Fig. 263.



Der Elektrophor oder Elektricitätsträger verdankt seinen Namen der Eigenschaft, die E. lange (tage-, selbst wochenlang) zu bewahren, wenn der Deckel aufgesetzt und der Teller nicht isoliert ist. Die E. der Scheibe wird nämlich von der aus dem Deckel und Teller angezogenen, ungleichnamigen E. festgehalten, ohne daß bei dem äußerst geringen Leitungsvermögen der Scheibe eine Ausgleichung der E. eintreten kann.

**b. Die Reibungs-Elektrisiermaschine** (Fig. 264). Das bequemste Verfahren, große Mengen von E. durch Reibung zu entwickeln, besteht darin, daß man eine Glasscheibe zwischen 2 Reibkissen mittelst einer Kurbel dreht. Die Hauptteile einer solchen Maschine, die in einfacherer Form zuerst von Otto von Guericke hergestellt worden ist, sind: 1) die drehbare Scheibe (S), 2) das festliegende Reibzeug (R) und 3) die Konduktoren oder Ansammler (K und $K_1$).

Fig. 264.

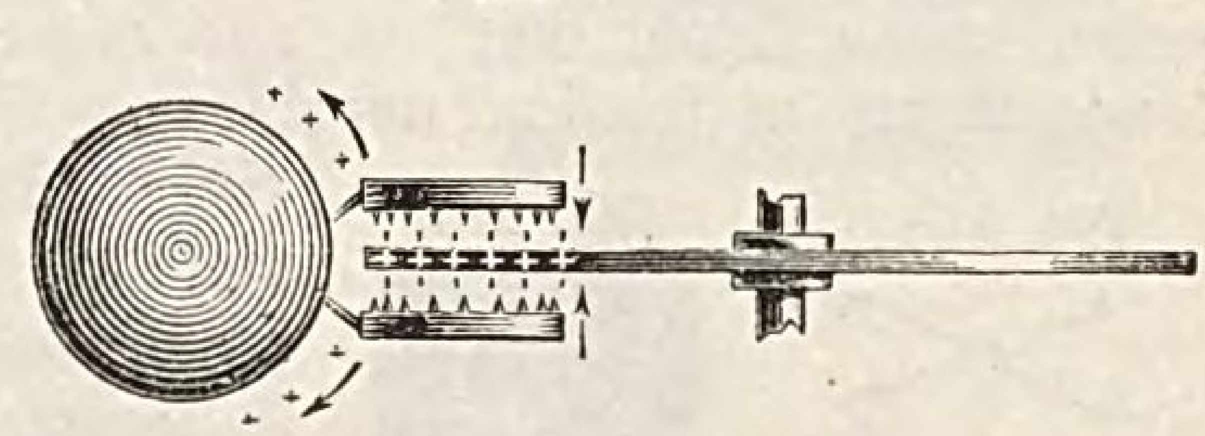



Der Isolierung wegen besteht die Achse der Scheibe, sowie jede der beiden Stützen für Konduktor und Reibzeug (d und f) aus Glas oder Hartgummi.

Das Reibzeug ist aus zwei Lederkissen zusammengesetzt, die mit Amalgam, d. h. mit einer Mischung aus Quecksilber, Zinn und Zink, überstrichen sind. Das amalgamierte Reibzeug wirkt kräftiger als ein wollener oder seidener Lappen.

Beim Drehen wird die Scheibe +el., das Reibzeug —el. Die +E. der Scheibe läßt man verteilend auf Metallspitzen einwirken, welche in zwei Ringen (b und $b_1$, Fig. 264) befestigt und mit dem Konduktor (K) leitend verbunden sind (vergl. Fig. 265). Dieser besteht aus einer Hohlkugel von Messing. Die aus den Spitzen gezogene —E. vereinigt sich mit der +E. der Scheibe, so daß im Konduktor freie +E. zurückbleibt. Damit die Scheibe bei ihrer Drehung auf dem Wege vom Reibkissen bis zu diesen Spitzen keine E. verliert, ist an jeder Seite des Reibkissens ein Lappen von Wachstaffet oder Seidenstoff befestigt, welcher der Scheibe anliegt.

Fig. 265.



Gewöhnlich wird die +E. benutzt, während man die —E. mittelst einer Kette zur Erde leitet, damit sie nicht durch Bindung der ungleichnamigen E. nachteilig wirkt. Häufig sind auch die Reibkissen durch Stanniolstreifen mit einem besonderen Konduktor ($K_1$) leitend verbunden. Will man die in diesem sich ansammelnde —E. benutzen, so verbindet man den Scheibenkonduktor leitend mit der Erde.

Über die verschiedenen Arten der el. Entladung lehren die Versuche mit der Elektrisiermaschine folgendes:

Steht ein stark el. Körper einem abgerundeten guten Leiter gegenüber, so vereinigen sich bei genügender Annäherung die ungleichnamigen Elektricitäten plötzlich: es entsteht ein **el. Funke** (z. B. zwischen Konduktor und Fingerknöchel).

Die größte Entfernung, in welcher ein el. Funke von einem el. Körper auf einen anderen Körper überspringt, heißt **Schlagweite.**

Fig. 266.

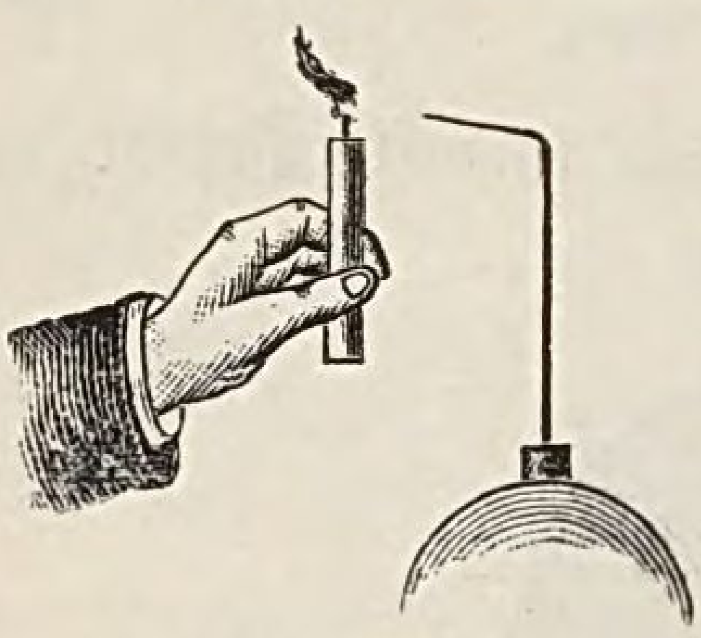
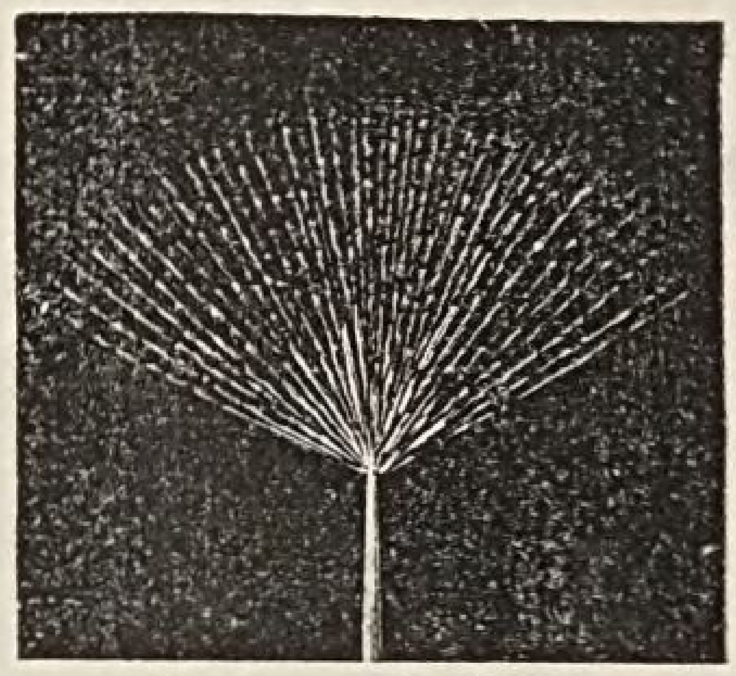


Fig. 267.



Wird ein leitender el. Körper, z. B. der Konduktor der Elektrisiermaschine (Fig. 266), mit einer Spitze versehen, so strömt die E. durch diese aus. Hierbei entsteht im Dunklen auf der Spitze durch die +E. ein Lichtbüschel (Fig. 267), durch die —E. ein Lichtpunkt (Glimmlicht).

Aus Spitzen, die an einem el. Körper angebracht sind, strömt die E. leicht aus.

Steht ein el. Körper leitenden Spitzen gegenüber (Fig. 265), so strömt aus diesen von den durch Verteilung erregten Elektricitäten die ungleichnamige aus und vereinigt sich allmählich mit der E. des Erregers: **el. Ausgleichung durch Spitzen.**

Wie der Elektrophor zeigt, lassen sich große Mengen von E. nicht nur durch Reibung, sondern auch durch el. Verteilung erregen. Auf diesem Vorgange beruhende Elektrisiermaschinen werden **Influenzmaschinen** genannt. Sie bestehen im wesentlichen aus 2 dünnen und einander möglichst nahestehenden Glasscheiben, von denen die eine schnell gedreht wird. Die feststehende Scheibe hat am Rande 2 einander gegenüberliegende tiefe Ausschnitte, neben denen je ein Papierstreifen so befestigt ist, daß seine Spitze in den Ausschnitt hineinragt. Diesen Papierbelegen gegenüber befinden sich vor der drehbaren Scheibe die Saugkämme zweier Konduktoren (Elektroden), zwischen denen sehr kräftige Funken überspringen.

---

**Übungsstoff.** 1. Welche Teile des Elektrophors und der Elektrisiermaschine müssen abgerundet sein? Grund! — 2. Wenn man den Deckel des Elektrophors mit Holundermarkkügelchen bestreut und ihn dann auf die geriebene Scheibe legt, so fliegen die Kügelchen fort. Diese Ersch. tritt auch ein, wenn man leichte K. auf den Konduktor der Elektrisiermaschine legt und dann die Scheibe dreht. Erkl.! — 3. Wird der Deckel beim Auflegen ableitend berührt, so tritt die Ersch. erst beim Abheben ein; w.? — Erkläre die Erschn. folgender Versuche (Fragen 4—9): 4. Befestigt man auf dem Konduktor einen spitzen Draht, der ein aus dünnem Blech geschnittenes Kreuz trägt, dessen etwa 5 cm lange Arme in seitliche umgebogene Spitzen auslaufen, so dreht sich das Kreuz wie ein Reaktionsrad (Fig. 268). — 5. Mit Hilfe der Elektrisiermaschine soll bewirkt werden, daß auf den Spitzen eines sägezahnförmig ausgeschnittenen Stückes Papier im Dunklen a. kleine Lichtbüschel, b. Lichtpunkte erscheinen. Wie ist dies zu erreichen, wenn nur der Konduktor der Scheibe oder nur der Konduktor des Reibzeuges benutzt wird? (Papier ist ein Halbleiter der E.) — 6. Hält man dem Konduktor der Scheibe einen ableitend berührten Metallstreifen gegenüber, auf dem man ein el. Pendel befestigt hat, so bewegt sich dieses wiederholt mit großer Geschw. gegen den el. Konduktor hin und wieder zurück (Fig. 269). Der Ausschlag eines auf dem Konduktor angebrachten Doppelpendels wird dabei, wenn die Scheibe nicht mehr gedreht wird, immer kleiner. Vertauscht man die Metallplatte mit einer schlecht leitenden Platte, etwa mit der Scheibe des Elektrophors, so tritt diese Ersch. nicht ein. — 7. Bringt man das obere, durch eine Metallfassung leitend gemachte Ende einer schlecht leitenden Glasröhre oder Glasscheibe, die man in kleinen Abständen mit zahlreichen rautenförmigen Stanniolblättchen beklebt hat (Fig. 270), mit dem Konduktor in Berührung, während man das untere Ende ableitend berührt, so springen zwischen sämtlichen Blättchen zahlreiche kleine Fun=

Fig. 268.



Fig. 269.

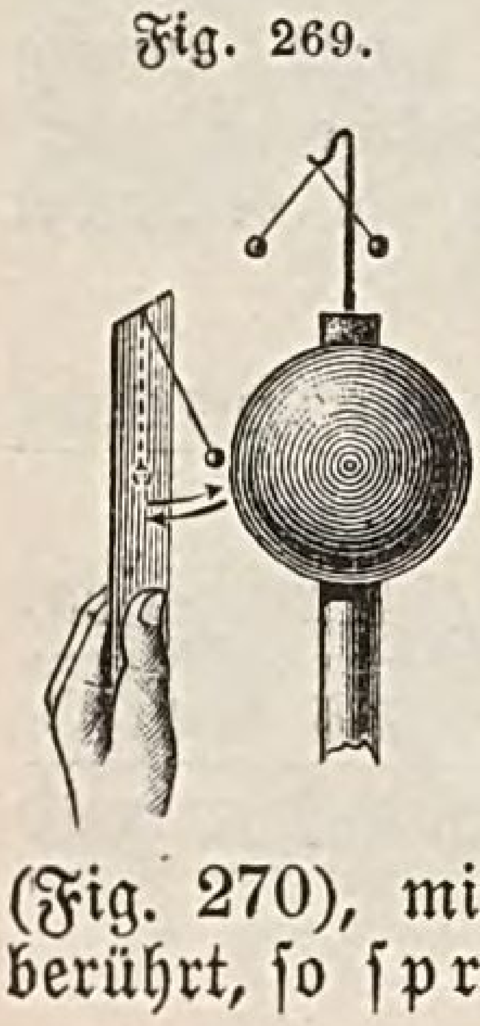
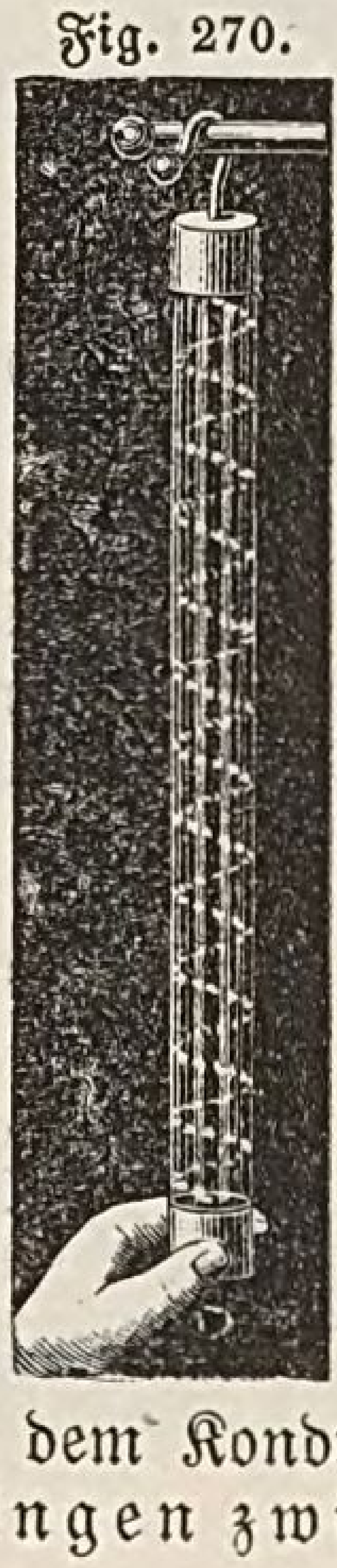
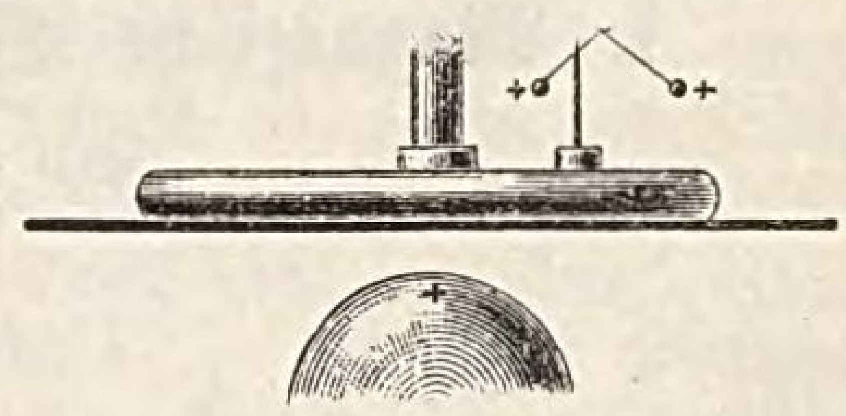


Fig. 270.



ken über: Blitzröhre, Blitztafel. — 8. Hält man die (nicht geriebene) Htg.-Scheibe des Elektrophors mit darauf liegendem Deckel nahe über den Konduktor der Elektrisiermaschine, so giebt ein auf dem Deckel befestigtes Fadenpendel einen Ausschlag durch + E., sobald man die Scheibe der Maschine dreht (Fig. 271). Entfernt man darauf Scheibe und Deckel aus der el. Atm., so erhält man, nachdem man den Deckel ableitend berührt und darauf von der Platte abgehoben hat, abermals einen Ausschlag, aber durch — E. — 9. Läßt man eine Person auf einen Isolierschemel treten (Brett mit Glas- oder Htg.-Füßen) und den Konduktor mit der Hand berühren, so erhält man Funken, wenn man den Körperteilen der Person mit dem Fingerknöchel nahe genug kommt; diese kann mit einer Fingerspitze das einem metallenen Brenner entströmende Leuchtgas entzünden, ihre Haare sträuben sich u. s. w.; sie wird aber nicht el., wenn sie eine Nähnadel zwischen den Fingern hält.

Fig. 271.

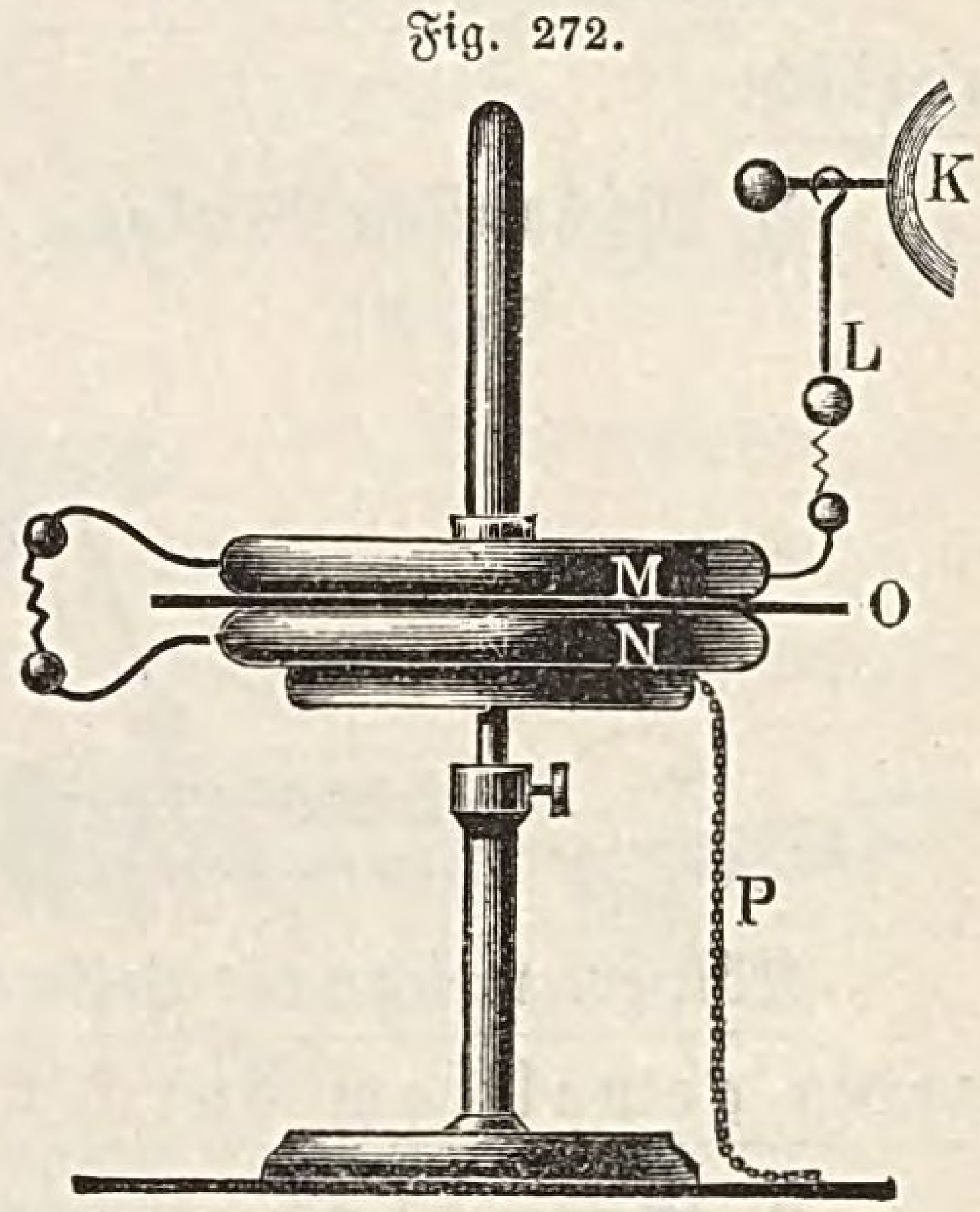


---

## § 78*. Kondensator. Wirkungen der Elektricität.

Zur Ansammlung von Elektricität dienen Apparate, welche aus 2 plattenförmigen guten Leitern (M und N, Fig. 272) bestehen, die durch eine isolierende Schicht (O) voneinander getrennt sind: **Elektrische Kondensatoren** (Ansammlungsapparate).

Fig. 272.




Bei dem in Fig. 272 dargestellten zerlegbaren Plattenkondensator liegen die Platten lose aufeinander. Die isolierende Scheibe desselben besteht aus Hartgummi, Am Rande der beiden leitenden Platten (hohlen Zinkplatten oder mit Stanniol beklebten Holzplatten) ist je ein kurzer Draht befestigt, der an seinem Ende eine Messingkugel trägt. Beim Gebrauche verbindet man die obere Kondensatorplatte mit dem Konduktor der Elektrisiermaschine, die untere mit dem Erdboden. Dann entstehen zwischen den einander gegenübergestellten Kugeln des Kondensators in größeren Pausen sehr kräftige und stark glänzende Funken.

Fig. 273.

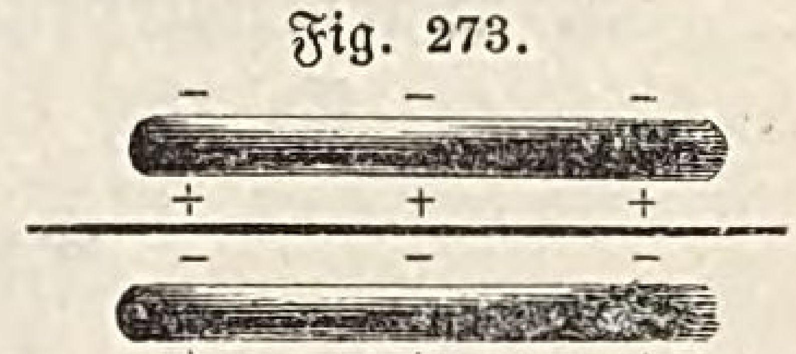


Fig. 273 stellt dar, in welcher Weise sich der Kondensator mit E. ladet.

Einfacher, aber nicht zerlegbar, ist der unter dem Namen **„Franklinsche Tafel"** bekannte Kondensator, der aus einer auf beiden Seiten mit Zinnblatt (Stanniol) beklebten Glasscheibe besteht.

Fig. 274.

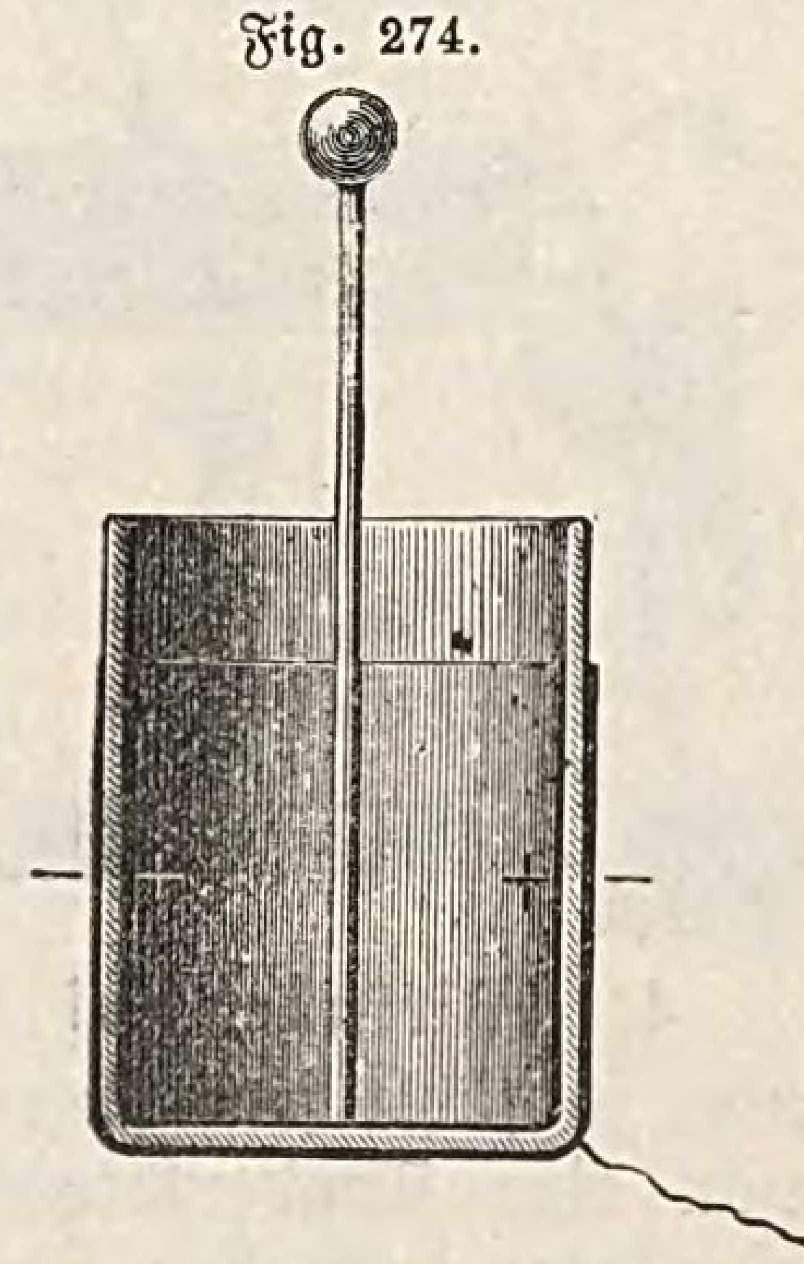
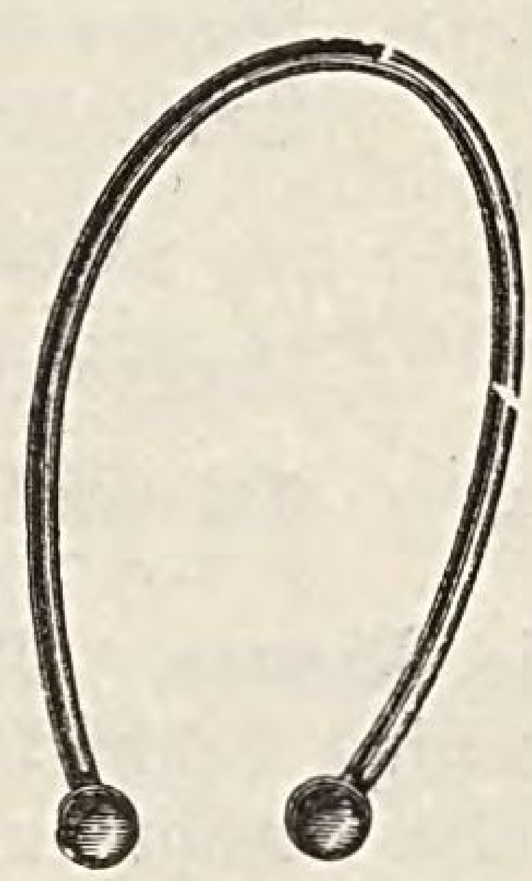


Fig. 275.

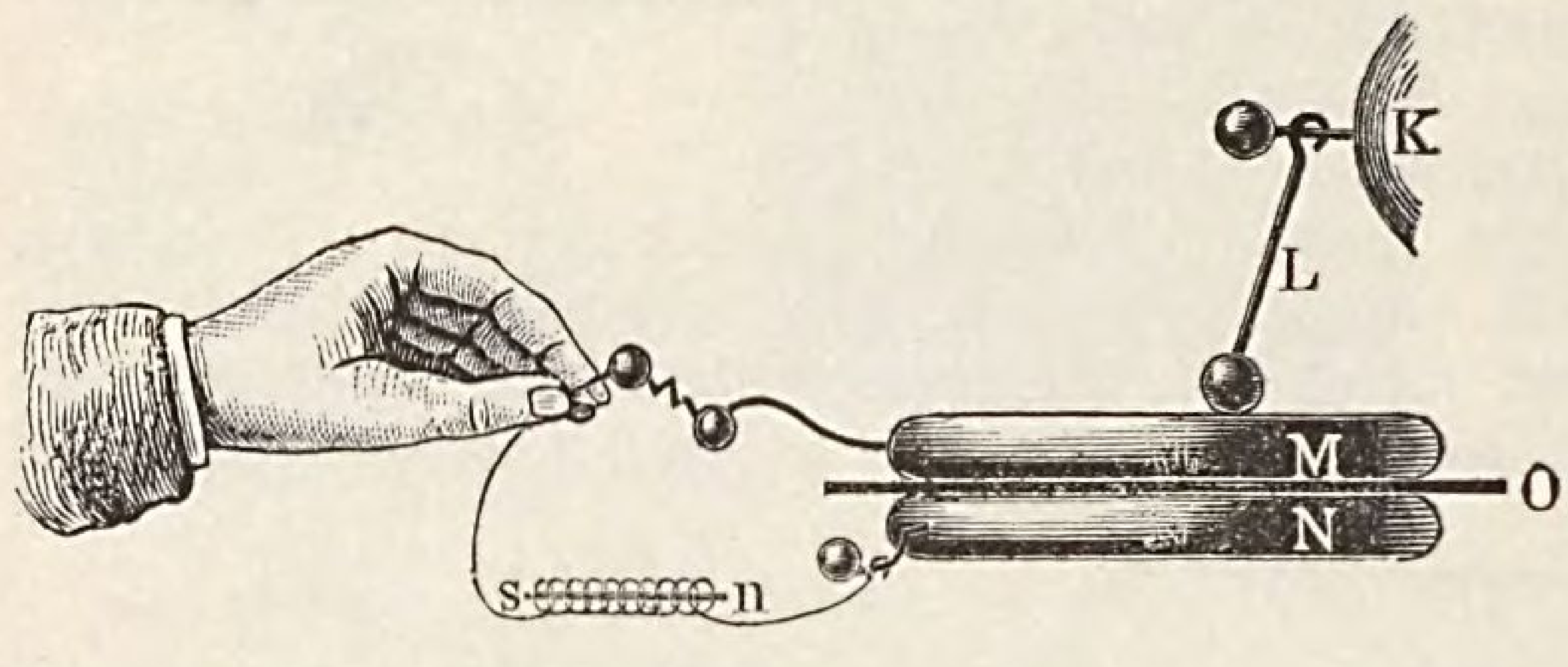


Der in Fig. 274 dargestellte, ebenfalls nicht zerlegbare Kondensator ist ein Glasgefäß, dessen Wand auf beiden Seiten mit Stanniol beklebt, während der obere Rand gefirnißt ist: Leydener Flasche (nach der Stadt Leyden, wo sie 1746 erfunden wurde). Um diesen Kondensator bequem laden zu können, ist im Deckel der Flasche ein Draht befestigt, der oben eine Kugel trägt und mit der inneren Metallschicht in leitender Verbindung steht. Zum Entladen bedient man sich eines an den Enden mit Kugeln versehenen Drahtes (Fig. 275), der an einem isolierenden Handgriffe gehalten wird oder mit Kautschuk überzogen ist.

Mit Hilfe eines Kondensators lassen sich folgende Wirkungen der E. hervorrufen:

1. **Magnetische Wirkung.** In die Windungen eines übersponnenen und schraubenförmig gewundenen Kupferdrahtes sei ein Stahlstäbchen gelegt (sn, Fig. 276). Befestigt man dann an einem Ende des Drahtes eine Metallkugel und verbindet das andere Ende mit einer Kondensatorplatte, so kann das Stäbchen durch eine Entladung des Kondensators magnetisch gemacht werden.

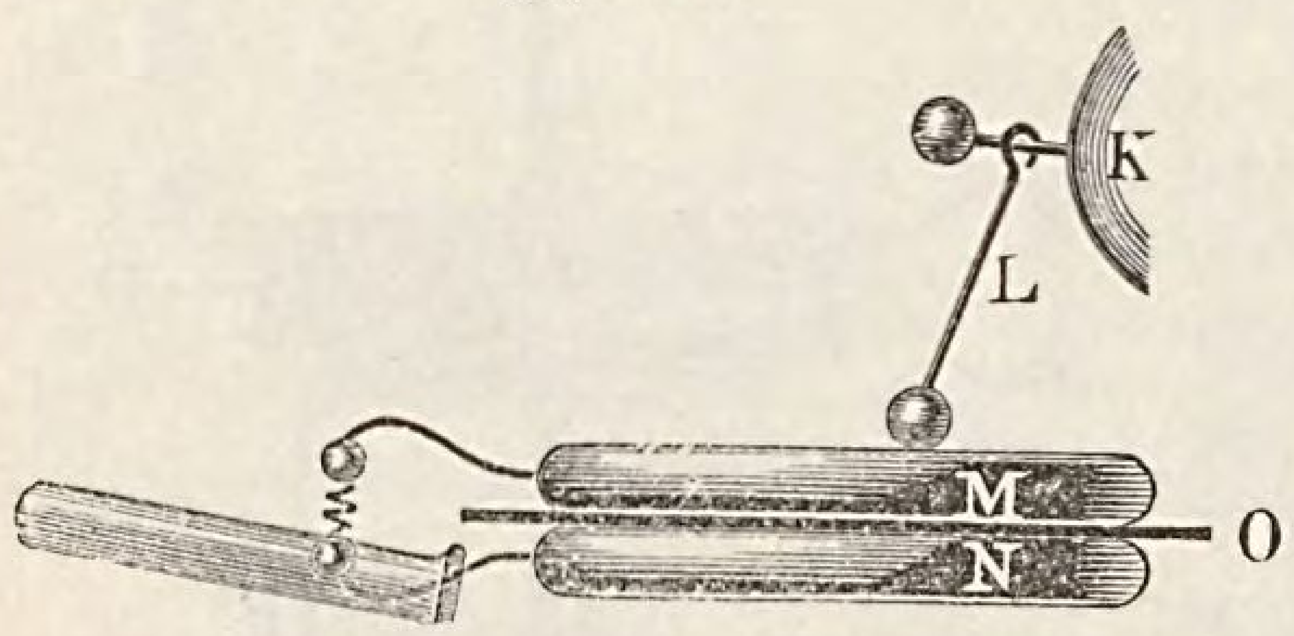
Fig. 276.




Stahlstäbe werden unter der Einwirkung eines Entladungsschlages magnetisch.

2. **Mechanische Wirkung.** Dünnes Glas (z. B. ein Probiergläschen, Fig. 277), ein Kartenblatt oder dergl. wird beim Überschlagen des Entladungsfunkens durchbohrt. Das Glas zeigt an der vom Funken getroffenen Stelle feine Risse, das Kartenblatt ein feines Loch, dessen Ränder nach beiden Seiten aufgeworfen sind. Flüssigkeiten werden durch kräftige el. Entladungen gewaltsam auseinander geschleudert.

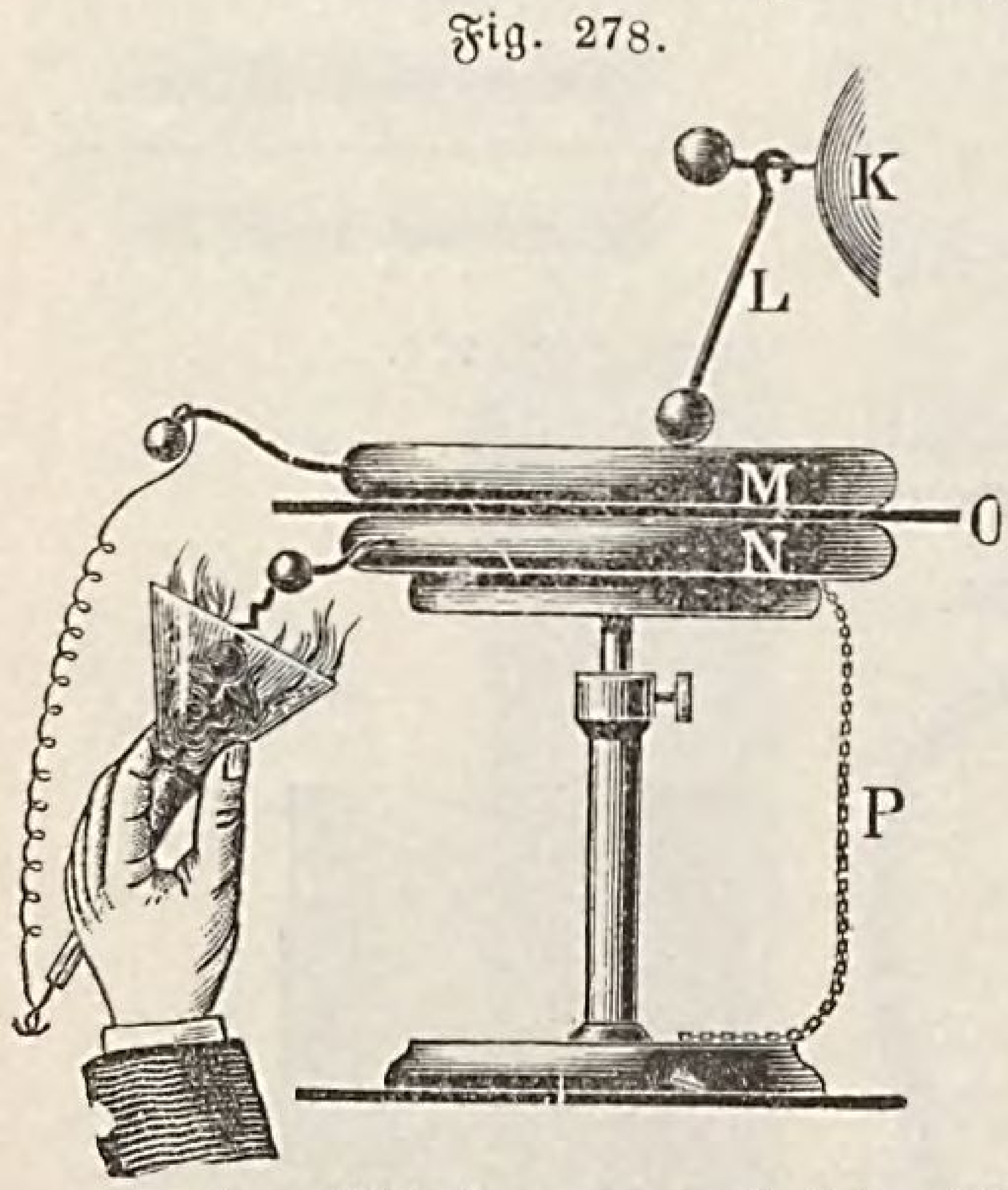
Fig. 277.




Körper, welche die Leitung der Elektricität bei der Entladung unterbrechen, werden gewaltsam durchschlagen.

3. **Wärmewirkung.** Läßt man den Entladungsfunken des Konduktors der Elektrisiermaschine oder eines Kondensators auf einen abgerundeten Leiter (Draht mit Kugel) überspringen, der mit einer leicht entzündbaren Flüssigkeit (etwa Äther auf Baumwolle getröpfelt) umgeben ist, so entzündet sich die Flüssigkeit durch den Funken (Fig. 278). — Eine Entzündung tritt auch ein, wenn man den Funken durch ein Gemisch von Leuchtgas und Luft schlagen läßt. — Sehr dünner Eisen- oder Platindraht läßt sich durch den Entladungsschlag zum Glühen bringen.

Fig. 278.




Bei der el. Entladung wird sowohl an der Unterbrechungsstelle, als auch im Leitungsdrahte des Entladungsschlages Wärme erzeugt.

4. **Wirkung auf die Nerven.** Reichen mehrere Personen einander die Hände, so fühlt jede eine heftige Erschütterung in den Gelenken, wenn die erste Person eine Kondensatorplatte berührt und die letzte der Kugel der anderen Kondensatorplatte den Fingerknöchel soweit nähert, daß ein Funke überspringt.

Der el. Entladungsschlag übt auf die Nerven einen starken Reiz aus, der sich durch schmerzhafte Muskelzuckungen zu erkennen giebt.

**Übungsstoff.** 1. Worin stimmen die angeführten Kondensatoren überein, und wodurch unterscheiden sie sich? — 2. Warum müssen die äußeren Platten eines Kondensators gute Leiter sein? — 3. Warum darf die mittlere Platte nicht auch aus Metall bestehen? — 4. Welchen Zweck hat die Kette in Fig. 272? — 5. Ist die Kette überhaupt nötig, a. wenn das Tischchen, auf dem der Kondensator liegt, ganz aus Holz besteht, b. wenn der Stab, welcher die Tischplatte trägt, aus Htg. besteht? — 6. Angenommen, man verbände den Konduktor (Fig. 272) mit der oberen Platte des Kondensators durch eine metallene Kette, oder man stellte das Tischchen so hoch, daß die Kugel des Drahtes (L) die obere Kondensatorplatte wie in Fig. 276 bis 278 berührte, würde dann eine Änderung der Erschn. eintreten, und welche? — 7. Was würde beim Laden des zerlegbaren Kondensators eintreten, wenn die isolierende Platte mit den beiden Metallplatten gleiche Größe hätte, oder noch kleiner wäre als die Metallplatten? — 8. In welcher Weise ladet sich der Kondensator a. durch den Konduktor der Scheibe, b. durch den Konduktor des Reibzeuges? Entladung! — 9. Man will die Leydener Flasche so laden, daß sie innen —E., außen +E. enthält; wie ist dies auszuführen? — 10. Warum ist der Draht des Ausladers, Fig. 276, mit Kautschuk überzogen?

---

**§ 79. Gewitter. Blitzableiter.** Die Gewitterwolken sind bald +, bald —el. Die freie Luft über der Erdoberfläche ist stets el. und zwar im allgemeinen im Winter stärker als im Sommer; bei heiterem Himmel fast immer +el.

Nähert sich eine Gewitterwolke einer unel. Wolke oder Gegenständen der Erdoberfläche, so findet in diesen eine el. Verteilung statt. Es entsteht ein **Blitz**, indem sich die E. der Wolke mit der von ihr angezogenen ungleichnamigen E. plötzlich ausgleicht.

Hiernach ist der **Blitz** sowohl nach seiner Form, als nach seinen Wirkungen ein gewaltiger el. Funke; der **Donner** der Schall, den der Blitz durch die heftige Lufterschütterung verursacht.

Daß man den Donner meistens später wahrnimmt, als den Blitz, ist eine Folge der verschiedenen Geschwindigkeit des Lichtes und des Schalles. (Das Licht pflanzt sich ungefähr 900000mal so schnell fort als der Schall.) Die **Dauer des Blitzes** ist eine so kurze, daß schnell bewegte Gegenstände im Dunkeln während des Blitzens stillzustehen scheinen (Räder eines Eisenbahnwagens).

Die Erfahrung lehrt, daß hoch hervorragende Gegenstände am leichtesten vom Blitze getroffen werden. Der Blitz folgt dabei den besseren Leitern; bei gleichguten Leitern schlägt er den kürzeren Weg ein. Reicht ein vom Blitze getroffener guter Leiter bis in den Erdboden hinab, so wird der Blitz dadurch in die Erde geleitet. Leitende Körper von geringer Dicke (Telegraphendrähte u. dgl.) werden durch den Blitz leicht bis zum Schmelzen erhitzt; brennbare Gegenstände entzünden sich leicht (erfolgt keine Entzündung, so pflegt man den Blitz als kalten Schlag zu bezeichnen). Sind gute Leiter von schlechten Leitern unterbrochen, so springt der Blitz von einem Gegenstande zum anderen über; die schlechten Leiter werden dabei häufig durchbohrt oder zertrümmert. In sandigem Boden schmelzen die Sandkörnchen durch den Blitz bisweilen zu Röhren (Blitzröhren) von einigen cm Durchmesser und mehreren m Länge zusammen. Die Luft, durch die der Blitz schlägt, kann bedeutende mechanische Wirkungen ausüben, z. B. Gegenstände fortreißen, Mauern verschieben u. s. w.

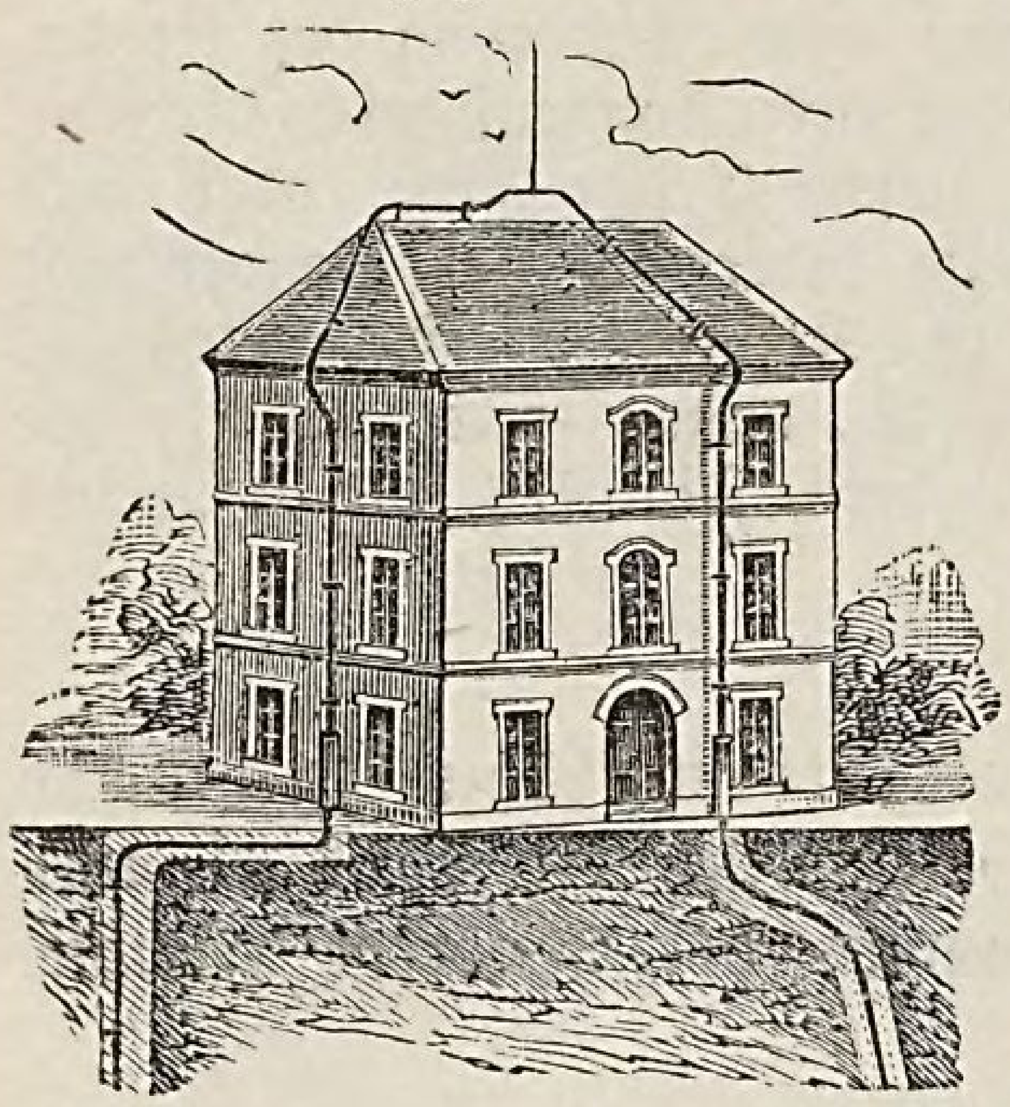
Entladet sich eine der Erde nahestehende el. Wolke plötzlich gegen eine höhere Wolke, so vereinigen sich die Elektricitäten wieder, welche durch die nähere Wolke in den Gegenständen der Erdoberfläche verteilt waren: es entsteht ein **el. Rückschlag**. Dieser wirkt bei genügender Stärke auf Menschen und Tiere ähnlich wie der Blitz selbst.

Blitze, deren Donner wegen ihrer großen Entfernung nicht gehört werden kann, rufen das sogen. **Wetterleuchten** hervor. Bei Nacht sind zuweilen, besonders während eines

Gewitters, auf den Spitzen von Türmen, Blitzableitern, Mastbäumen u. s. w. kleine büschelartige Flämmchen wahrnehmbar, die durch das Ausströmen der E. entstehen. Diese Erscheinung wird **St. Elmsfeuer** genannt.

Um ein Gebäude vor dem Blitzschlage zu schützen und dessen Zustandekommen überhaupt möglichst zu verhüten, wendet man **Blitzableiter** an (Fig. 279), d. h. auf dem Gebäude senkrecht befestigte Eisenstangen (sogen. Auffangstangen), die durch starken Kupferdraht mit der Erde leitend verbunden sind. Die Spitzen der Auffangstangen sind, damit sie sich an der Luft nicht verändern, stark vergoldet oder mit einem Platinüberzug oder einer Kohlenspitze versehen. Das untere Ende der Leitung reicht in das Grundwasser oder in das Wasser eines Brunnens hinab. Der Schutzkreis eines Blitzableiters hat ungefähr die Höhe der Auffangstange zum Halbmesser.

Fig. 279.



Die Hauptwirkung eines Blitzableiters erklärt sich daraus, daß die aus seiner Spitze strömende E. sich mit der E. der Wolke langsam vereinigt, wodurch die Wolke allmählich entladen wird. Springt dennoch auf den Blitzableiter ein Funke über, so erfolgt dies ohne nachteilige Wirkung für das Gebäude, wenn der Blitzableiter mit der feuchten Erde in gut leitender Verbindung steht.

Der Blitzableiter muß mit dem Gebäude und allen darin oder daran befindlichen größeren Metallmassen, wie eisernen Treppen, Dachrinnen, Wasserleitungsröhren u. dgl., leitend verbunden und darf nirgends unterbrochen sein. Um die Oberfläche der Erdleitung zu vergrößern und dadurch die schützende Wirkung zu erhöhen, wird das untere Ende des Blitzableiters mit einer großen Platte oder einem Cylinder aus Kupfer leitend verbunden.

Der Blitzableiter ist eine Erfindung Franklins; dieser wurde durch das Ergebnis der Untersuchung von Gewitterwolken darauf geführt, daß man durch die „Kraft der Spitzen" Gebäude vor dem Blitzschlage schützen könne.

Vorsichtsmaßregeln: Befindet man sich während eines starken Gewitters außerhalb des Hauses, so halte man sich nicht in der Nähe von alleinstehenden hohen Gegenständen (Bäumen, Telegraphenstangen oder dergl.) auf; ist das Gewitter sehr nahe, so bleibe man nicht in aufrechter Stellung. Im Zimmer halte man sich nicht in der Nähe von Metallmassen (Ofen, Kronleuchter u. dgl.) auf. Um beim etwaigen Einschlagen des Blitzes durch den starken Dunst nicht betäubt zu werden, öffne man die Thür oder das Fenster.

Eine Erscheinung, die bei uns ziemlich selten, in den Polarländern aber fast jede Nacht vorkommt, ist das **Nordlicht.** Es bildet einen Lichtbogen, der einen dunklen Kreisabschnitt des Himmels umsäumt und in beständiger Bewegung ist. Vom Lichtbogen schießen in der Richtung der Radien des Kreises, dem der Lichtbogen angehört, nach allen Seiten glänzend gelbe, rote oder violette Strahlen empor, deren Größe und Gestalt beständig wechselt. Das Nordlicht ist wahrscheinlich eine Wirkung elektrischer Entladungen in den oberen Luftschichten.

---

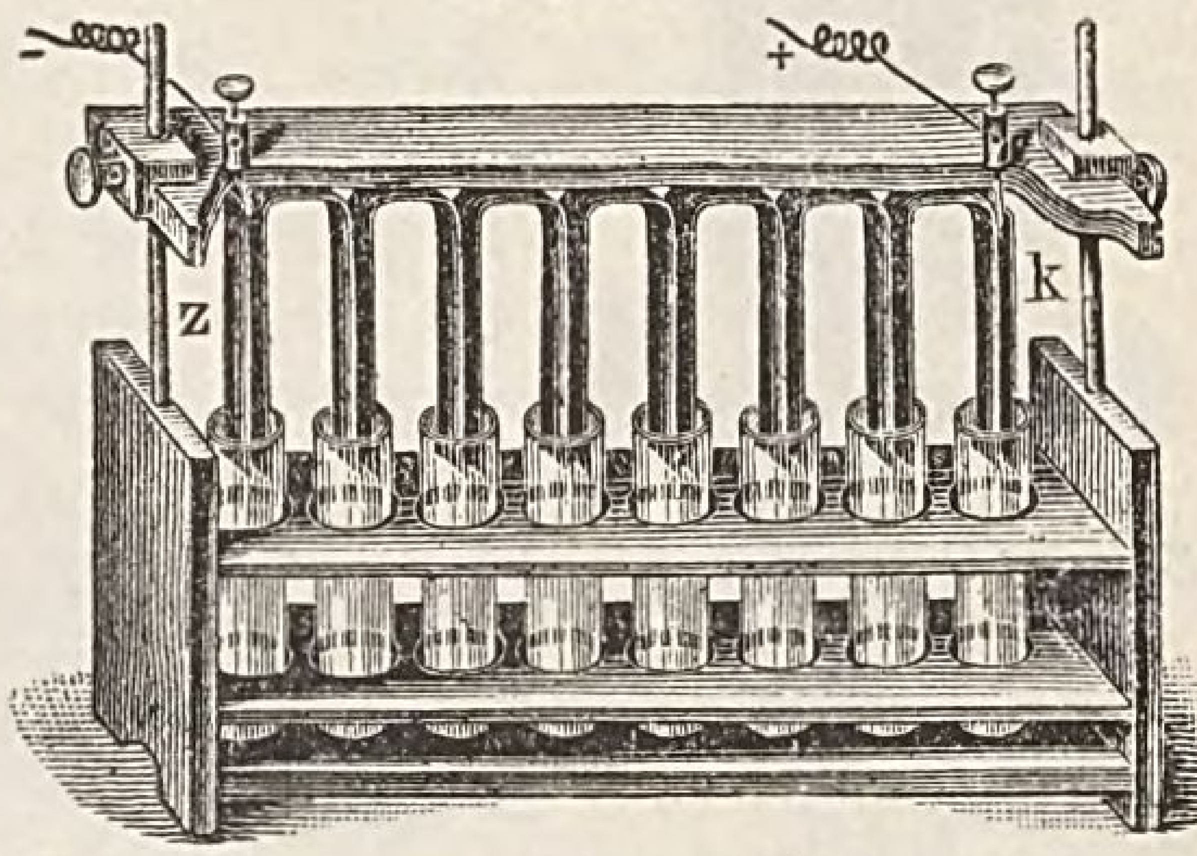
**Übungsstoff.** 1. In welcher Weise wirken el. Wolken auf unel. Wolken oder auf Gegenstände der Erdoberfläche ein? (Früherer Versuch mit gleichem Vorgange!) — 2. Man hört oft sagen, der Blitzableiter ziehe den Blitz an. Ist das richtig? — 3. Ein Dachfirst sei 18 m lang, wie hoch muß dann mindestens die Auffangstange des Blitzableiters sein? — 4. Warum müssen größere Metallmassen eines Gebäudes mit dem Blitzableiter verbunden werden? — 5. Der menschliche K. leitet die E. besser als Holz und Gestein. Was ist daher wahrscheinlich, wenn jemand beim Gewitter unter einem Baume oder an einer Mauer Schutz sucht und diese vom Blitze getroffen wird? — 6. Zweck der Metallspitze, der Hanf- und Seidenschnur, sowie des Schlüssels am Franklinschen Drachen? — 7. In hohe Bäume mit behaarten Blättern soll der Blitz nicht so leicht einschlagen als in andere; wie

ließe sich dies erklären? — **8.** Welche künstlich hervorgerufene el. Ersch. entspricht dem St. Elmsfeuer? — **9.** Warum kann man nachts bei einem einzelnen Blitze nicht sehen, daß ein Vogel fliegt, ein Rad sich dreht u. s. w.? — **10.** Wie weit ist ein Gewitter von uns entfernt, wenn zwischen Donner und Blitz 10 Sekunden verstreichen?

## B. Berührungs-Elektricität oder Galvanismus.

**§ 80. Galvanische Grundversuche. Galvanischer Strom. Galvanoskop.** Seit ungefähr 100 Jahren weiß man, daß Elektricität nicht nur durch Reibung entsteht, sondern auch dadurch, daß gewisse Körper miteinander in Berührung gebracht werden. — Stellt man z. B. in mehrere mit stark verdünnter Schwefelsäure gefüllte Gläser (Fig. 280) je einen Zink- und einen Kupferstreifen und ordnet sämtliche Streifen so, daß die Metalle abwechseln und jeder Zinkstreifen mit dem Kupferstreifen des benachbarten Glases metallisch verbunden ist, so lassen sich folgende Erscheinungen hervorrufen:

Fig. 280.




1. Ist an jeder der beiden Endplatten ein Draht befestigt, so empfindet man **Zuckungen** in den Handgelenken, wenn man den einen Draht in der feuchten Hand hält und den anderen mit der ebenfalls befeuchteten anderen Hand wiederholt berührt.

2. Befestigt man an jedem der beiden Drähte ein scharf zugespitztes Stückchen Coaks (spr. Kohks), so entsteht bei gegenseitiger Berührung der Spitzen ein kleiner, hell leuchtender **Funke.**

3. Ein zwischen den beiden Drähten eingeschalteter, kurzer und sehr dünner Eisen- oder Platindraht wird **glühend.**

4. Schaltet man zwischen den beiden Drähten einen schraubenförmig gewundenen Kupferdraht ein, in dessen Windungen ein Eisenstäbchen liegt, so wird dieses **magnetisch.**

5. Hält man eine Magnetnadel das eine Mal nahe über einen der beiden Drähte, ein andermal nahe darunter, so wird die Nadel jedesmal **abgelenkt,** sobald man diesen Draht mit dem anderen berührt.

Die beiden magn. Erscheinungen (4 und 5) entstehen schon durch ein einzelnes Element.

Alle diese Erscheinungen werden auch durch zahlreiche andere Flüssigkeiten in Berührung mit 2 Metallen hervorgerufen. Hierbei löst sich das Zink in der Flüssigkeit allmählich auf; das sich nicht auflösende Metall (z. B. Kupfer) kann auch durch harte Kohle ersetzt werden.

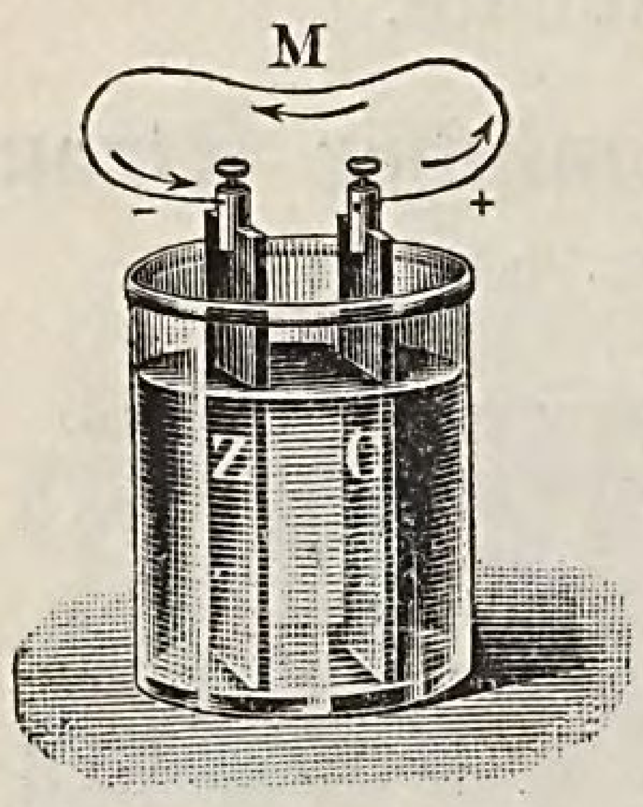
Wenn zwei Metalle oder Metall und harte Kohle mit gewissen Flüssigkeiten in Berührung gebracht werden, so wird durch ihre gegenseitige Einwirkung Elektricität erregt: **Berührungs-Elektricität** oder **Galvanismus.**

Vorrichtungen, durch welche man zur Erregung von E. eine Flüssigkeit auf zwei Metalle oder auf Metall und Kohle einwirken läßt, werden **galvanische Elemente** genannt. Mehrere miteinander verbundene galv. Elemente bilden eine **galvanische** (Voltasche) **Batterie.** In einem galv. Elemente wird ein Metall (gewöhnlich Zink) durch die

darauf einwirkende Flüssigkeit gleichsam verbrannt, ebenso wie man zur Erzeugung von Wärme Kohle verbrennt.

Die Berührungs-E. hat ihren Namen galvanische E. oder Galvanismus nach ihrem Entdecker, dem italienischen Arzte Galvani (1790) erhalten.

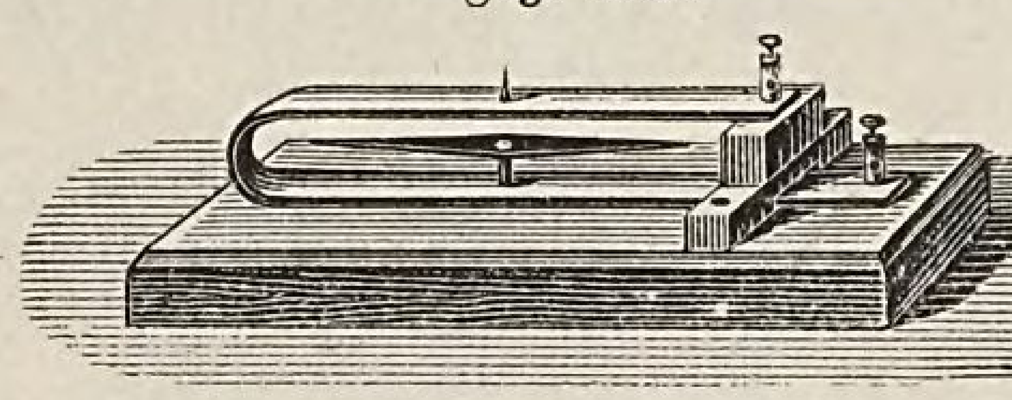
Fig. 281.




Mit sehr empfindlichen Instrumenten läßt sich nachweisen, daß von den beiden Endplatten einer galvanischen Batterie oder eines einzelnen galvanischen Elementes (Fig. 281) die aus der Flüssigkeit hervorragenden Enden ungleichnamig el. sind, und zwar die eine Platte (Zink) — el., die andere + el. Man bezeichnet daher diese freien Enden der Platten als el. Pole (neg. und pos. Pol). Zur Erklärung der Erscheinungen unter 1 bis 5 stellt man sich vor, daß sich die beiden Elektricitäten infolge der leitenden Verbindung dieser beiden Pole vereinigen, sowie daß von den Erregungsflächen beständig Elektricität nachströmt. Als **elektrischer (galvanischer) Strom** wird indes nur die vom positiven zum negativen Pole fließende Elektricität bezeichnet (siehe Fig. 281).

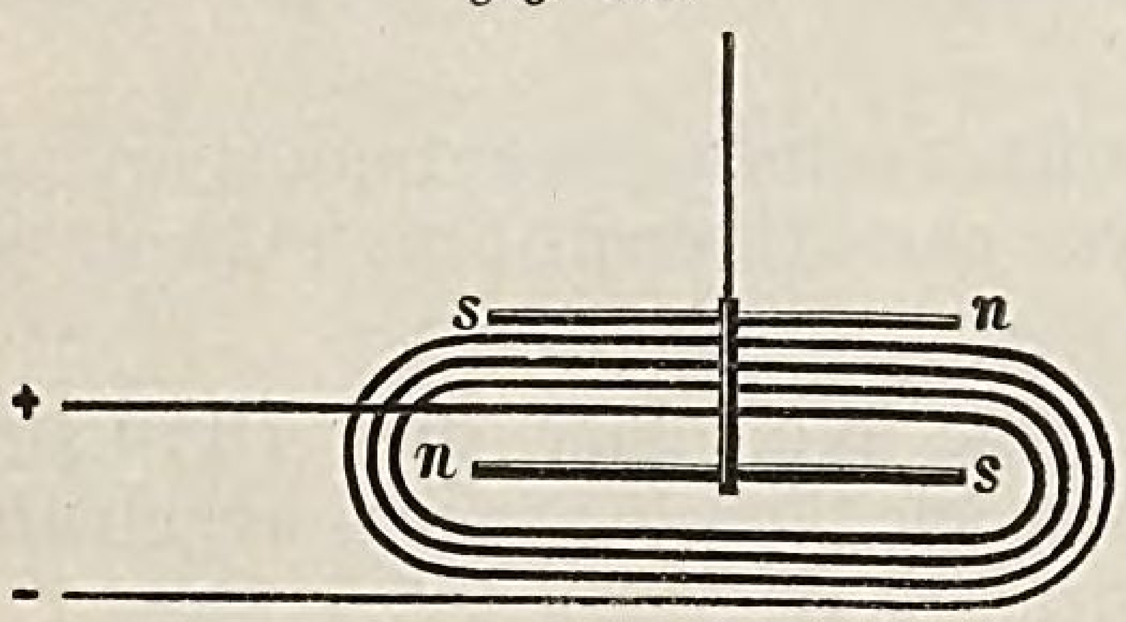
Um einen galv. Strom nachzuweisen, verwendet man am besten die Magnetnadel. Instrumente, die zum Nachweis des Stromes dienen, werden **Galvanoskope** genannt; kann mit ihnen die Stromstärke auch gemessen werden, so nennt man sie **Galvanometer.**

Fig. 282.



Das in Fig. 282 dargestellte Galvanoskop besteht aus einem Kupferbügel, der zwei Stahlspitzen zum Auflegen der Magnetnadel trägt. Für sehr schwache Ströme verwendet man statt eines einfachen Bügels einen aus zahlreichen Windungen bestehenden Kupferdraht, und statt der gewöhnlichen Magnetnadel eine an einem dünnen Faden aufgehängte magnetische Doppelnadel. Da bei dieser die ungleichnamigen Pole übereinander liegen, so kommt sie in jeder Lage zur Ruhe (astatische Nadel). Eine derartige Vorrichtung heißt **Multiplikator** (Fig. 283).

Fig. 283.




**Übungsstoff.** 1. Wird Zink in verdünnter Schwefelsäure aufgelöst, so entsteht Wärme, ebenso wie wenn Kohle verbrennt. Um die Wärmeentwickelung zu vermindern und andauernd E. zu erhalten, muß noch ein besonderes Verfahren angewandt werden; welches? (Vergleich mit der Elektrisiermaschine.) — **2.** Mit welchen Teilen der Elektrisiermaschine lassen sich die Pole einer galv. Batterie vergleichen? — **3.** Es läßt sich leicht bewirken, daß sich die + E. des Scheibenkonduktors einer Elektrisiermaschine mit der — E. des mit dem Reibzeuge verbundenen Konduktors unter Funkenbildung vereinigt. Wie ist dies auszuführen? — **4.** Welcher Körper leistet bei dieser Ausgleichung der E. einen Widerstand? — **5.** Um eine (viel schwächere) ähnliche Wirkung durch Berührungs-E. hervorzurufen, bedarf es einer außerordentlich starken galv. Batterie. Inwiefern ist somit die Kraft, mit der die Ausgleichung erfolgt, von der Art der E.s-Erregung abhängig? — **6.** Was mußte daher geschehen, damit bei Versuch 1 (Seite 129) die Wirkung der E. auf die Nerven deutlich fühlbar wurde? — **7.** Sämtliche über die Reibungs-E. angeführten Wirkungen sind eine Folge von plötzlicher Ausgleichung der E. Bei welchen Versuchen über Berührungs-E. trtit es besonders hervor, daß die Wirkung durch andauernde Ausgleichung hervorgerufen wird? — **8.** Durch die Kraft einer abgeschossenen Kugel läßt sich eine offene Thür nicht schließen, wohl aber durch einen leichten Druck mit dem Finger. Inwiefern läßt sich dies mit dem Durchschlagen von Glas durch den el. Funken und mit der Ablenkung der Magnetnadel durch den el. Strom vergleichen? — **9.** Vgl. Thermoskop, Elektroskop und Galvanoskop miteinander.

**§ 81*. Konstante Elemente. Stromstärke.** Für den Gebrauch der galvanischen Elemente ist es wichtig, daß der erzeugte Strom *längere Zeit* hindurch nahezu die anfängliche Stärke behält. Dies ist bei der einfachen Einrichtung der im vorigen Paragraphen beschriebenen galv. Elemente nicht zu erreichen, weil sich bei der Auflösung des Zinks *Wasserstoff* entwickelt, der sich auf der nicht auflösbaren Platte (Kohle, Kupfer) ablagert und dadurch den galv. Strom schwächt. Um letzteres zu verhüten, nimmt man Flüssigkeiten zu Hilfe, die den frei gewordenen Wasserstoff binden und ihn dadurch unschädlich machen, z. B. Salpetersäure und Chromsäure. Galv. Elemente von dieser Einrichtung werden **konstante**, d. h. *beständig wirkende* **Elemente** genannt. Die wichtigsten derselben sind:

1. **Das Daniellsche Element** (Fig. 284). Die beiden Platten desselben sind *Zink* und *Kupfer*; ersteres steht in verdünnter *Schwefelsäure*, letzteres in einer Lösung von *Kupfervitriol*, aus der festes Kupfer ausgeschieden wird anstatt der Wasserstoffblasen. Beide Flüssigkeiten sind durch einen Thoncylinder voneinander getrennt.

Fig. 284.

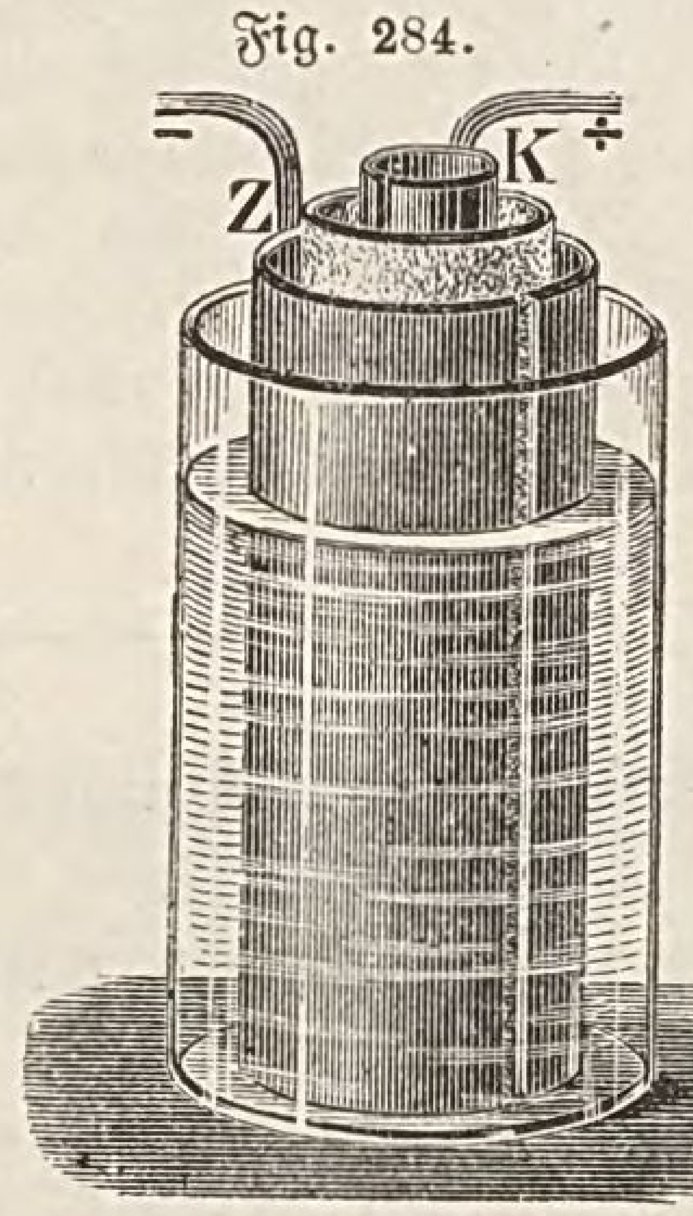
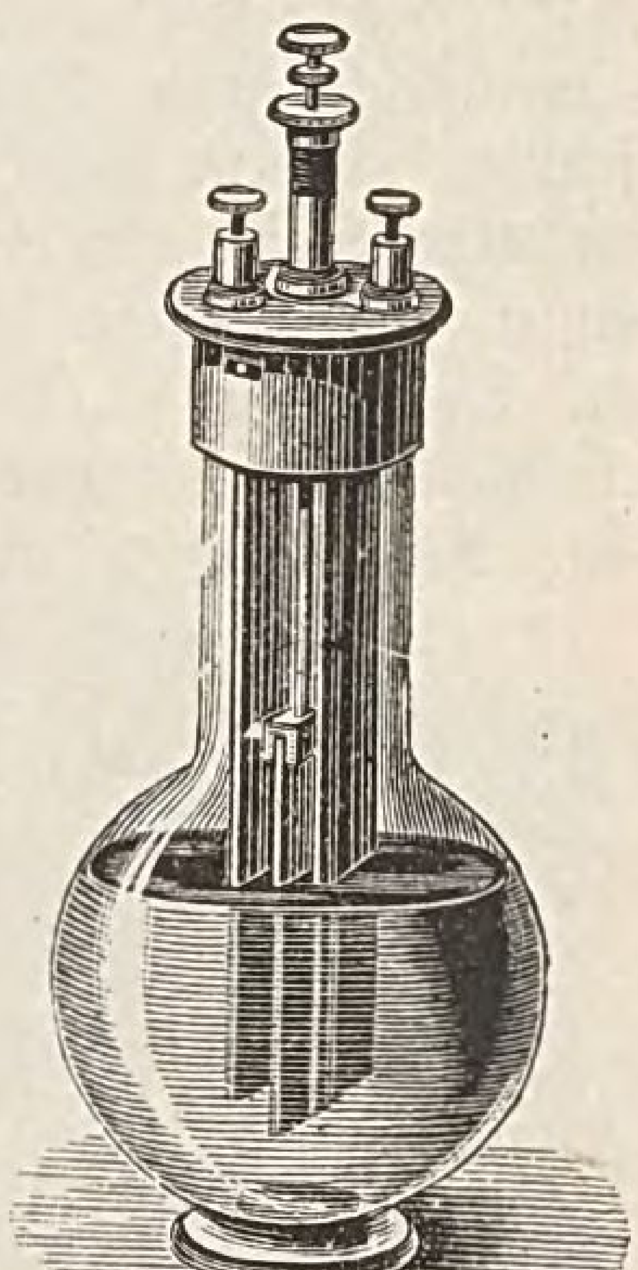



Fig. 285.

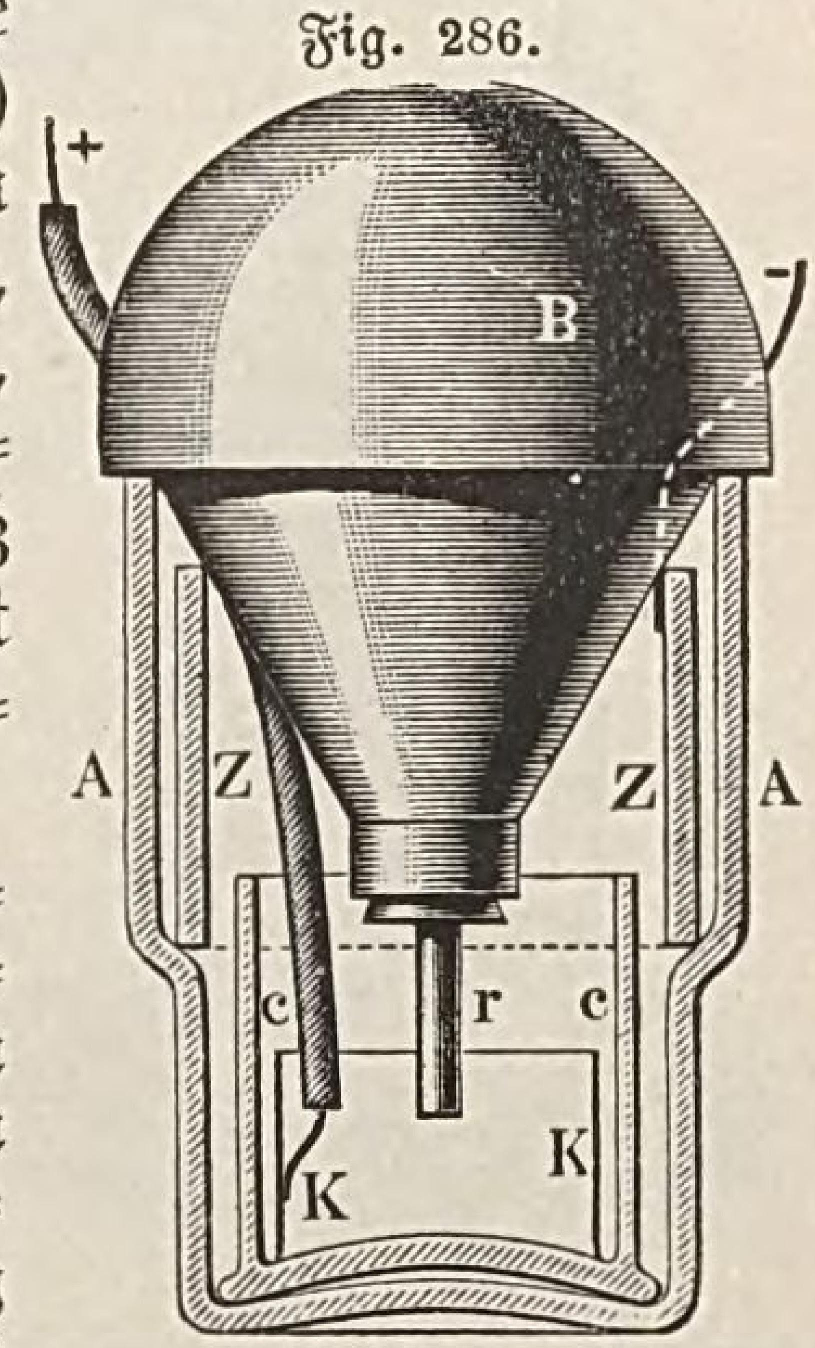


2. **Das Bunsensche Element** enthält statt des Kupfers *Kohle*, welche in *Salpetersäure* oder auch mit dem *Zink* zusammen (ohne Thoncylinder) in gelöste *Chromsäure* gestellt wird (Fig. 285). Beide Säuren geben leicht Sauerstoff ab, der sich mit dem Wasserstoff verbindet und ihn so unschädlich macht.

Bunsen-Elemente geben einen besonders kräftigen Strom, der aber nicht so andauernd ist, wie der Strom der Daniell- und Meidinger Elemente.

3. **Das Meidingersche Element** (Fig. 286) enthält, wie das Daniellsche, eine *Zink-* und eine *Kupferplatte*, welche aber ohne Thoncylinder übereinander gestellt werden. Das Zink (Z) steht in einer *Bittersalzlösung* und das Kupfer (K) in einer Lösung von Kupfervitriol. Letztere ist in einem kleinen, am Boden des großen Gefäßes stehenden Glase enthalten, in das der Hals einer umgekehrten, mit Kupfervitriol-Krystallen gefüllten Flasche (B) hineinragt. Dadurch, daß sich diese Krystalle allmählich lösen, behält das Element lange Zeit nahezu die gleiche Beschaffenheit und Wirksamkeit.

Fig. 286.




Das Meidingersche Element wird namentlich auf den Telegraphenstationen angewendet. Eine einfachere Einrichtung desselben besteht darin, daß ein kurzer, dicker Zinkcylinder auf den Rand des Glases in die Flüssigkeit gehängt wird. Auf dem Boden des Glases liegt eine Kupfer- oder Bleiplatte. Zur Füllung dienen Kupfervitriolkrystalle, auf welche eine Zinkvitriollösung gegossen wird. — Häufig wendet man auch galv. Elemente an, bei denen das Gefäß mit Braunsteinstückchen und Salmiaklösung gefüllt ist; in letztere wird das Zink gehängt, während die Kohlenplatte zwischen die Braunsteinstückchen gestellt wird. Diese **Braunsteinelemente** liefern fast jahrelang einen galv. Strom und sind daher besonders zum Betrieb el. *Läutewerke* geeignet.

In neuerer Zeit werden zu diesem Zwecke auch häufig die sogen. **Trockenelemente** angewandt. Sie enthalten keine Flüssigkeit, sondern eine eingedickte Masse und sind deshalb für den Gebrauch besonders bequem.

Die **Stärke galvanischer Ströme** ist abhängig von der Anzahl und Zusammensetzung der Elemente und von der Beschaffenheit der Leitung, die zwischen den Polen des Elementes oder der Batterie eingeschaltet ist. Die Leitungsdrähte setzen der Fortleitung der E. einen um so größeren Widerstand entgegen, je länger und dünner sie sind. Kupferdrähte leiten bei gleicher Länge und Dicke etwa 6mal so gut als Eisendrähte.

---

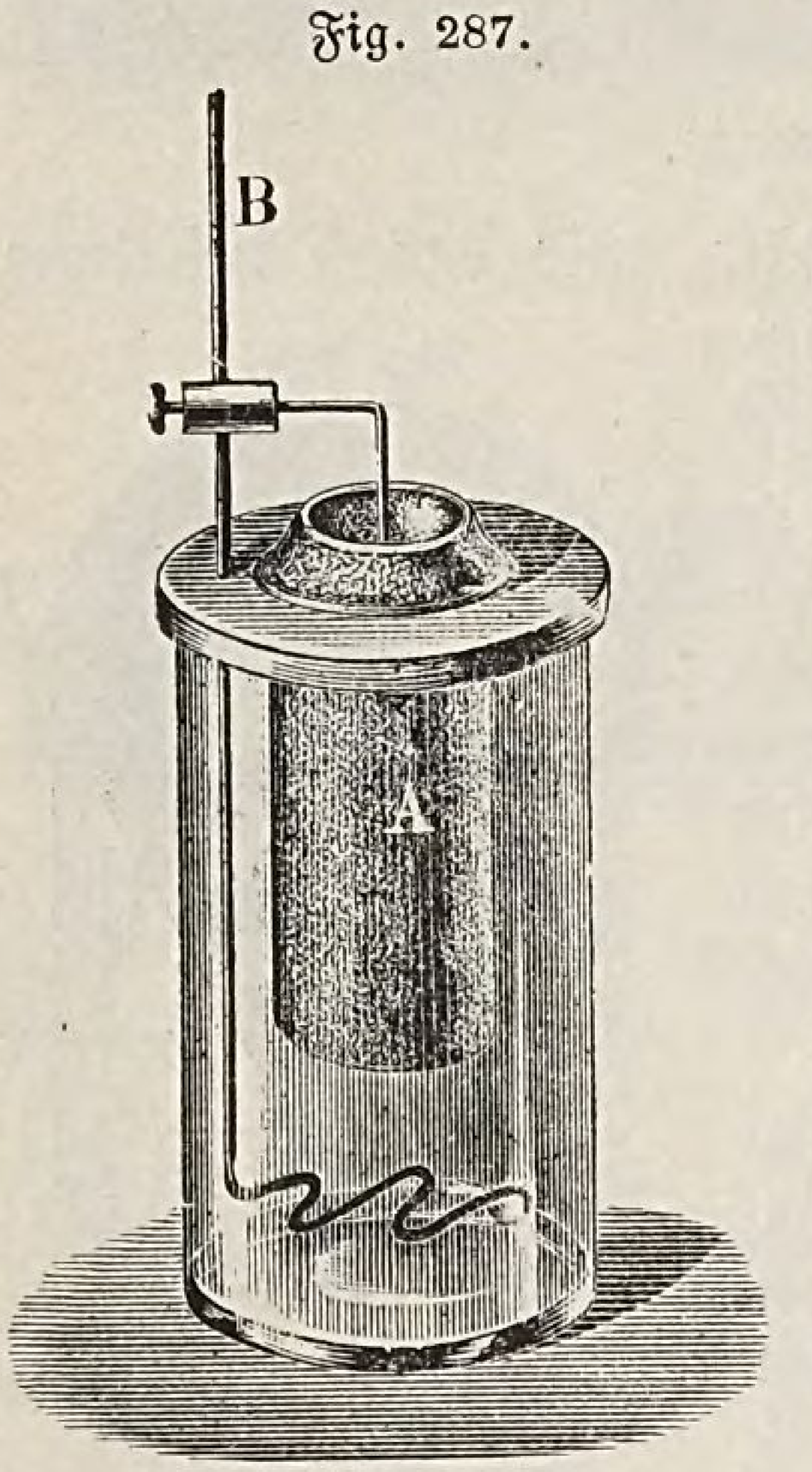
**Übungsstoff.** 1. Damit W. eine Mühle treiben kann, muß es fließen. Wie muß man mit einem galv. Elemente verfahren, damit die E. andauernd fließt? — 2. Was muß stattfinden, damit die Mühle bei gleichen Widerständen andauernd gleichmäßig geht? Wende dies auf ein galv. Element an. — 3. Worin stimmen die angeführten galv. Elemente überein? — 4. Wodurch unterscheiden sie sich? — 5. Zu Schulversuchen ist das in Fig. 285 dargestellte Element besonders geeignet, zum Gebrauche im praktischen Leben dagegen das Daniellsche und Meidingersche, sowie verschiedene andere Elemente von geringerer Stromstärke; warum wohl? — 6. Wie muß sich das Gewicht der Zinkplatte nach dem Gebrauche zu dem Gew. derselben vor dem Gebrauche des Elementes verhalten? — 7. Inwiefern kann man sagen: der Strom richte sich im Schließungsbogen nach dem Alphabet? — 8. Durch den el. Strom läßt sich mit Hilfe eines Galvanoskopes sicher nachweisen, ob ein Blitzableiter nirgends unterbrochen ist; wie? — 9. Warum müssen Eisendrähte dicker sein als Kupferdrähte, wenn sie den galv. Strom ebenso gut leiten sollen?

---

## Die wichtigsten Wirkungen des galvanischen Stromes.

**§ 82*. Chemische Wirkung. Galvanoplastik.** Beim Gebrauche eines Daniellschen Elementes scheidet sich das in der Kupfervitriollösung enthaltene Kupfer nach und nach aus und schlägt sich auf der Kupferplatte des Elementes nieder. Die dunkelblaue Flüssigkeit wird dabei um so heller, je mehr ihr Kupfergehalt abnimmt. Auch im Meidingerschen Elemente findet eine Kupferausscheidung statt, weshalb man, um die Flüssigkeit möglichst lange gesättigt und brauchbar zu erhalten, beständig Kupfervitriolkrystalle hinzufügt.

Fig. 287.




Giebt man dem galv. Elemente die in Fig. 287 dargestellte Einrichtung, bei der ein mit dem Zink leitend verbundener Draht in die Kupfervitriollösung eintaucht und unter dem Thongefäße endigt, so ist nicht nur die Bildung des Kupferniederschlages deutlicher zu beobachten, sondern es können auch statt der Kupferplatte andere Gegenstände in den Apparat eingefügt werden, die sich dann mit einer dünnen Kupferschicht überziehen. Dies erfolgt ohne weiteres, wenn der Gegenstand aus Metall besteht und somit die E. leitet; dagegen muß bei einem nicht leitenden Gegenstande die Oberfläche durch Bepinseln mit gepulvertem Graphit (Ofenschwärze) leitend gemacht werden. Nachdem man dem Gegenstande durch Verbindung mit dem Drahte eine sichere Lage gegeben hat, läßt man den Strom einwirken. Der Kupferniederschlag kann bei genügender Dicke von dem Gegenstande abgetrennt werden und zeigt genau die Form der Oberfläche desselben. — Auf ähnliche Weise kann man auch andere Metalle durch den galv. Strom aus Lösungen ihrer Salze ausscheiden.

Der galv. Strom vermag Metalle aus ihren Lösungen auszuscheiden; diese Ausscheidung erfolgt am negativen Pole.

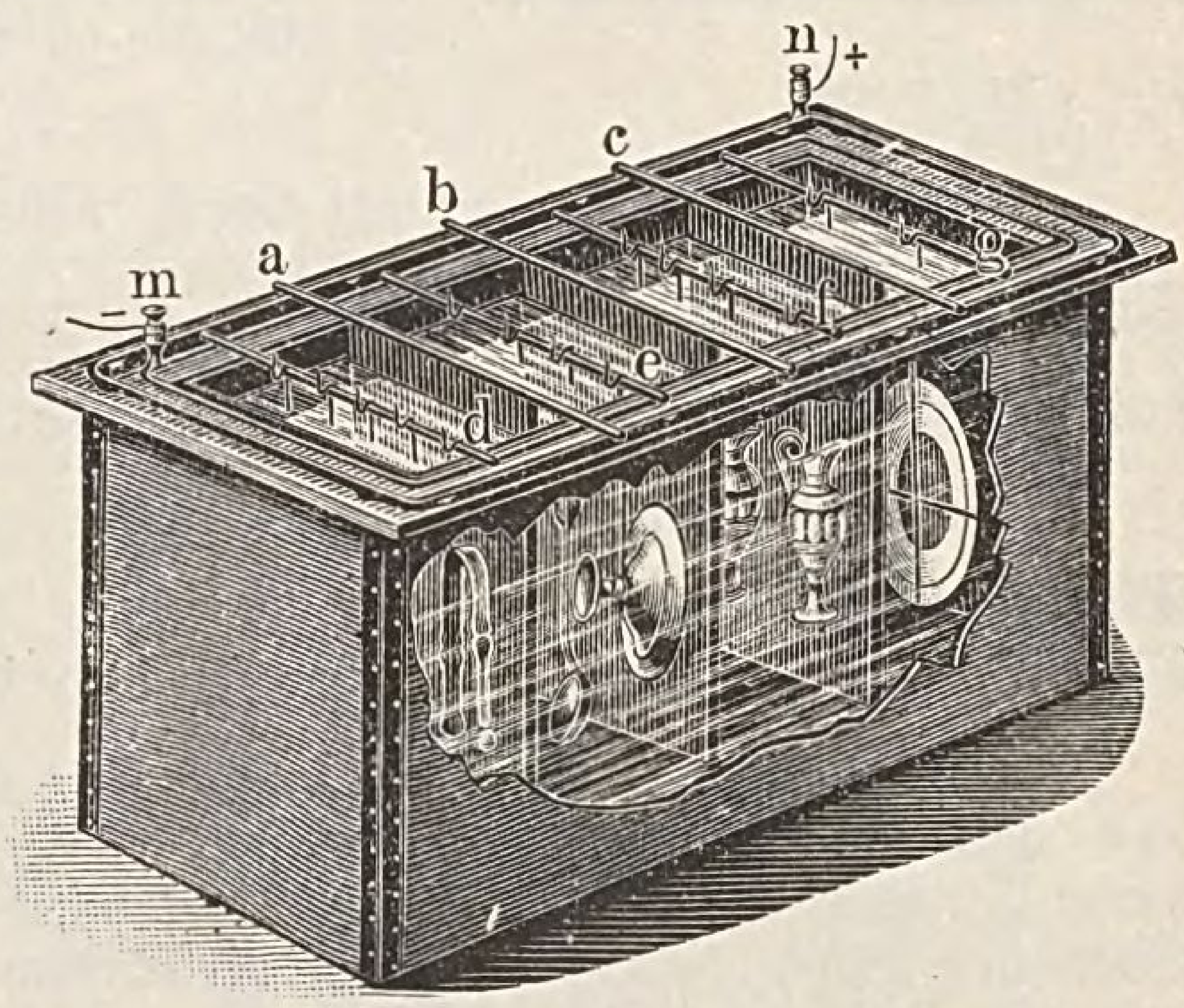
Von dieser Wirkung des galv. Stromes macht man neuerdings eine wichtige Anwendung, indem man durch starke Ströme Metalle aus ihren chemischen Verbindungen (Erzen) ausscheidet: **Reinmetallgewinnung.** Dieses Verfahren wird im großen besonders zur Gewinnung von Kupfer und Aluminium angewendet.

Durch starke el. Ströme können auch andere chemisch zusammengesetzte Körper, z. B. angesäuertes Wasser, in ihre Bestandteile zerlegt werden. Bei der Wasserzersetzung scheidet sich am negativen Pole (Zinkpole) der Wasserstoff und am positiven Pole der Sauerstoff aus. (Gewöhnlich verbindet man die Pole leitend mit Platinplatten und stülpt über diese zum Auffangen der Gase Glasröhren, die am oberen Ende geschlossen sind.)

Die Kunst, von Gegenständen von beliebiger Form durch den galv. Strom Metallabdrücke herzustellen, heißt **Galvanoplastik.**

In der Industrie wendet man zur Herstellung galvanischer Abdrücke meist besondere, mit der Metallsalzlösung gefüllte Gefäße an, durch die man den galv. Strom leitet (Fig. 288). In diesen Gefäßen werden die betreffenden Gegenstände so aufgehängt, daß sie mit dem negativen Pole der Batterie verbunden sind. Damit die Flüssigkeit ihre ursprüngliche Beschaffenheit behält, bestehen die den Gegenständen gegenüber angebrachten und mit dem pos. Pole verbundenen Platten aus demselben Metalle, das in der Flüssigkeit aufgelöst ist. Diese Platten lösen sich allmählich auf und geben dadurch an die Flüssigkeit ebensoviel Metall ab, als sich durch den Strom ausscheidet. — Zur galv. Nachbildung von Gegenständen, die auf ihrer Oberfläche künstlerisch verziert sind, stellt man zunächst eine sogen. Matrize her, d. h. einen Abdruck oder Abguß in Wachs, Guttapercha oder dergl., und setzt diese, nachdem man ihre Oberfläche leitend gemacht hat, der Einwirkung des Stromes aus.

Fig. 288.

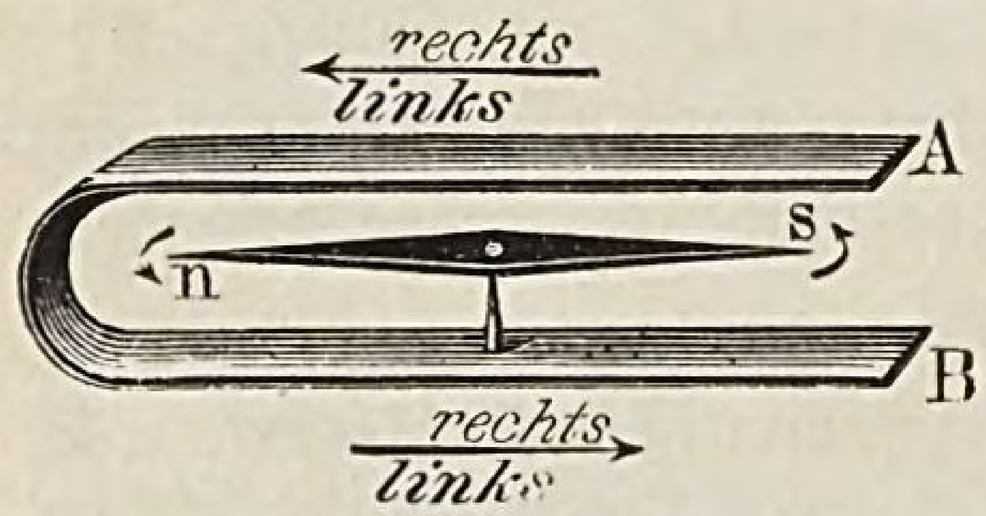



Durch den galv. Strom werden außerdem Gegenstände für den täglichen Gebrauch verkupfert, versilbert, verzinkt, vernickelt u. s. w., sowie Ornamente, Kupferstiche, Holzschnitte u. dgl. nachgebildet. Zur Stromerzeugung dienen gewöhnlich elektrische Maschinen (§ 85). — Die Galvanoplastik wurde ums Jahr 1840 erfunden.

**Übungsstoff.** 1. Worin stimmt die Einrichtung des in Fig. 287 dargestellten Elementes mit einem Daniellschen überein, und wodurch unterscheiden sich beide voneinander? — 2. Welchen Vorteil gewährt diese Einrichtung? — 3. Inwiefern sind die chemischen Vorgänge innerhalb und außerhalb des Thongefäßes einander entgegengesetzt? — 4. Wenn man die Enden der Poldrähte einer galv. Batterie in verdünnte Schwefelsäure eintaucht, so bedeckt sich der eine Poldraht mit einer braunen Ablagerung. Welcher Pol ist dies? — 5. Bei der Anwendung des in Fig. 287 dargestellten Apparates empfiehlt es sich, einen porösen Beutel mit Kupfervitriolkrystallen zwischen Thonzelle und Glaswand in der Flgk. aufzuhängen; warum wohl? — 6. Wodurch wird derselbe Zweck bei Anwendung des in Fig. 288 dargestellten Apparates erreicht? — 7. Der Draht B (Fig. 287) wird, soweit er in die Flüssigkeit eintaucht, mit Ausnahme der Befestigungsstelle der Matrize lackiert. Grund! — 8. Warum darf das Thongefäß A nicht glasiert sein? — 9. Die Abbildungen dieses Buches sind mittelst galv. angefertigter Kupferplatten (Clichés, spr. Klischees) gedruckt, die durch den galv. Strom nach Holzschnitten hergestellt wurden. Welchen Vorteil hat dieses Verfahren wohl dem früheren Verfahren gegenüber, wonach man die Holzschnitte selbst zum Drucke benutzte? (Nach den Holzschnitten lassen sich immer von neuem wieder Clichés anfertigen.)

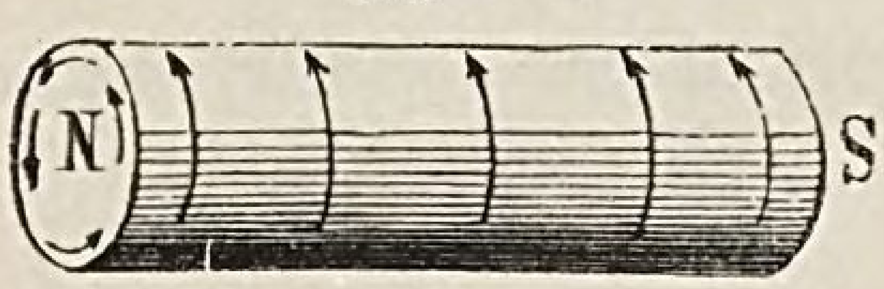
**§ 83*. Gesetze der magnetischen Wirkungen des galv. Stromes. Telegraph. Elektrische Klingel.** Läßt man den galv. Strom an einer ruhenden Magnetnadel so vorbeifließen, daß der Leitungsdraht mit der Nadel parallel gerichtet ist, so wird diese *durch den Strom abgelenkt und zwar stets in demselben Sinne* (Fig. 289). Die Ablenkung erfolgt nach einer einfachen Regel (*Schwimmerregel*):

Fig. 289.




Denkt man sich eine menschliche Figur in den Strom eingeschaltet, die mit dem Strome schwimmt und das Gesicht der Nadel zuwendet, so schlägt der *Nordpol* der Nadel stets nach *links* aus. **(Ablenkende Wirkung.)**

Fig. 290.




Wird ein galv. Strom in zahlreichen Drahtwindungen um einen unmagnetischen Eisen- oder Stahlstab geleitet, so wird dieser durch den Strom magnetisiert; die magnetischen Pole nehmen in Bezug auf die Richtung des Stromes eine bestimmte Lage ein (Fig. 290).

Der *Nordpol* eines durch den galv. Strom magnetisierten Eisen- oder Stahlstabes liegt stets *links* von einer menschlichen Figur, die mit dem Strome schwimmt und das Gesicht gegen den Stab wendet. **(Magnetisierende Wirkung.)**

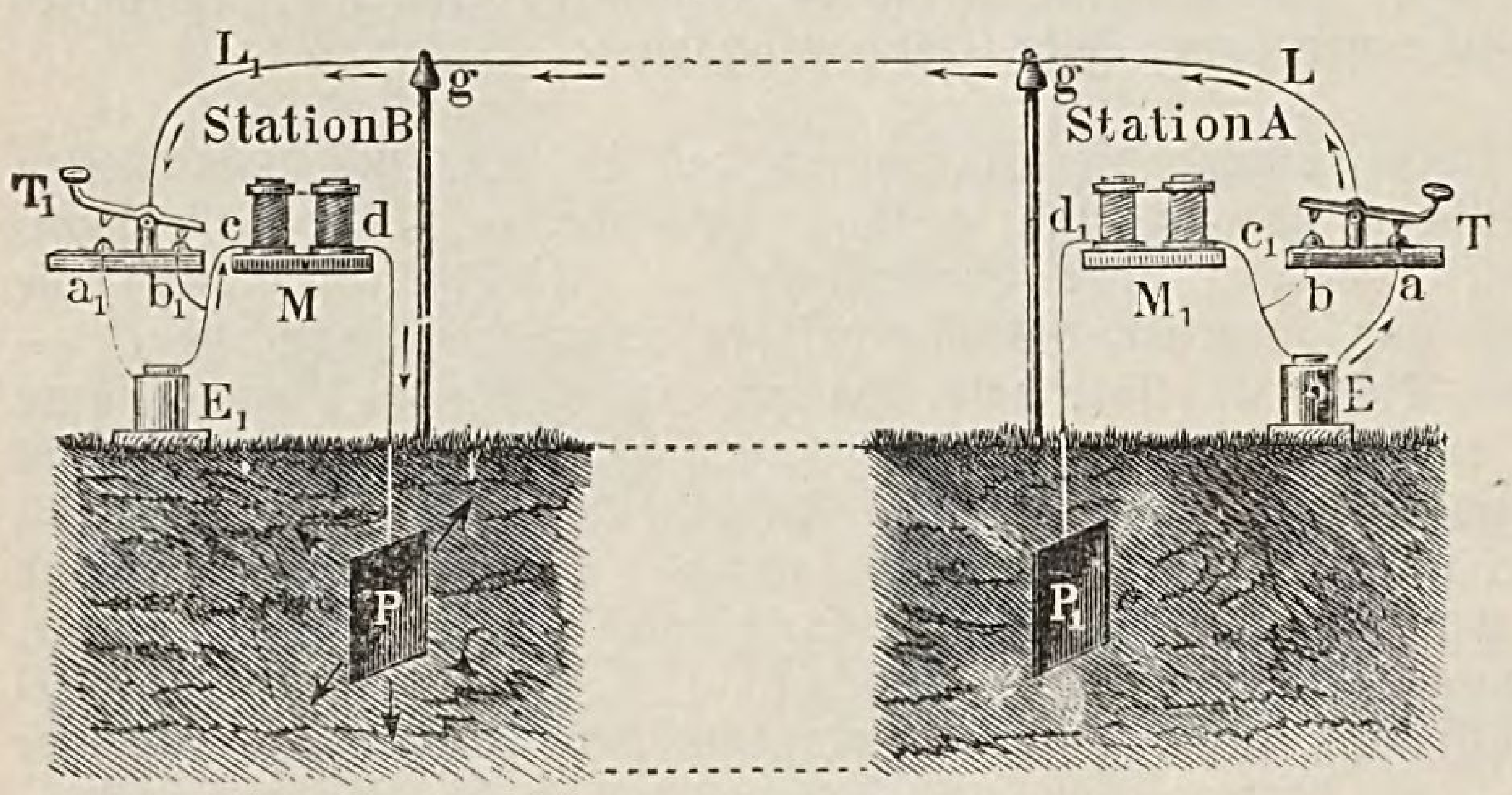
*Der durch den galv. Strom erregte Magnetismus wird* **Elektromagnetismus** *genannt. Ein durch den Strom magnetisierter Stab von weichem Eisen heißt* **Elektromagnet.**

*In weichem Eisen verschwindet der Magnetismus fast ganz wieder, sobald der Strom zu wirken aufhört*, ähnlich wie beim Annähern und Entfernen eines Magnetpoles; *Stahl* wird durch Einwirkung des Stromes dauernd magnetisch. Eisen und Stahl lassen sich durch den Strom viel stärker magnetisieren als durch Magnete.

### Anwendung der magnetischen Wirkungen des galv. Stromes.

Die magnetischen Wirkungen des galv. Stromes finden ihre wichtigste Anwendung *zur schnellen Übermittelung von Nachrichten in die Ferne*: **Telegraphie.** Jeder Telegraph (Fig. 291) besteht im wesentlichen aus 4 Teilen: 1) dem *Stromerreger*, 2) der *Leitung*, welche die Absende-Station mit der Empfangs-Station verbindet, 3) dem *Zeichengeber*, 4) dem *Zeichenempfänger*.

Fig. 291.




Zur *Erregung des Stromes* werden durchweg galvanische Batterien von sehr *konstanten* (Meidingerschen) Elementen angewandt, deren Anzahl hauptsächlich von der Entfernung und der Zahl der Stationen abhängig ist.

Die *Leitung* besteht aus verzinktem Eisendraht oder aus Kupfer- (Broncz-) draht. Zur Isolierung des Drahtes dienen bei oberirdischen Leitungen gewöhnlich Glocken aus Porzellan (g, Fig. 291), bei unterirdischen Leitungen Hüllen aus Guttapercha und geteertem Hanf, die zum Schutze gegen äußere Beschädigungen noch mit Eisendrähten umgeben sind (Fig. 292 und 293 stellt ein unterseeisches *Kabel* dar). Die Leitungsdrähte dienen jedoch nur zur Hinleitung des Stromes. Eine Rückleitung ist überflüssig, da es genügt, den anderen Pol der Batterie mit einer großen, in die feuchte Erde versenkten Kupferplatte (P) leitend zu verbinden.

Fig. 292.

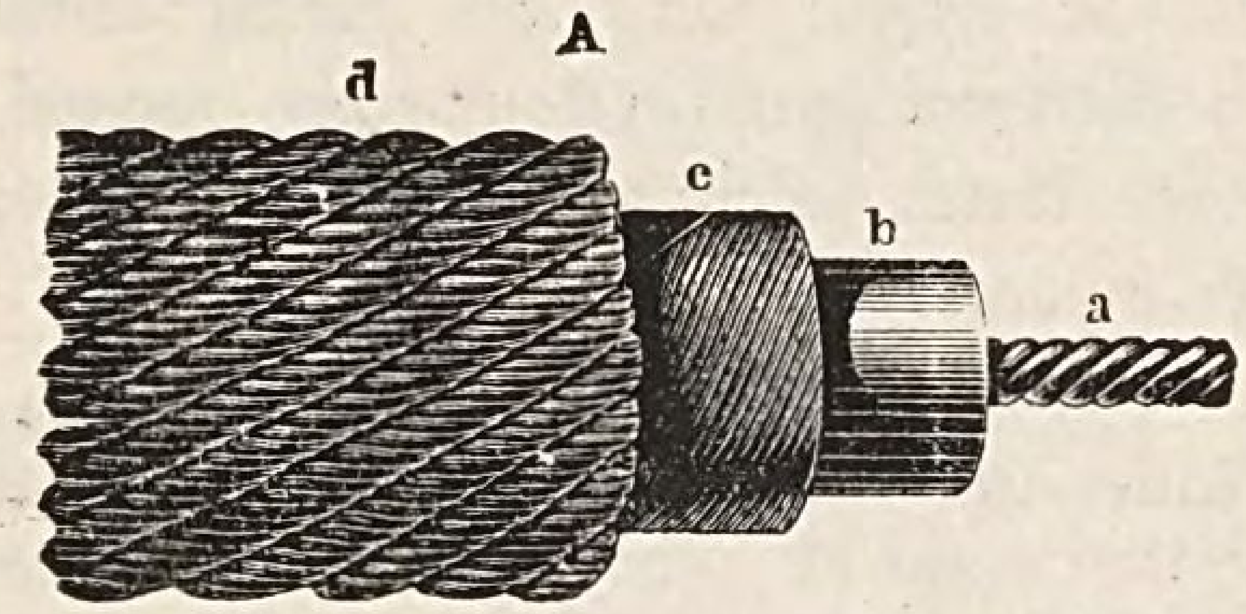
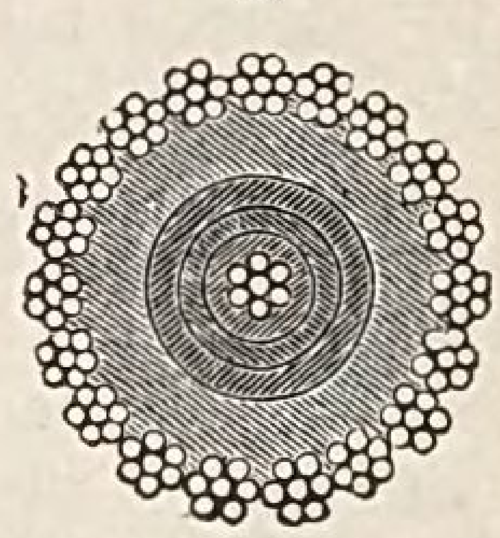



Fig. 293.

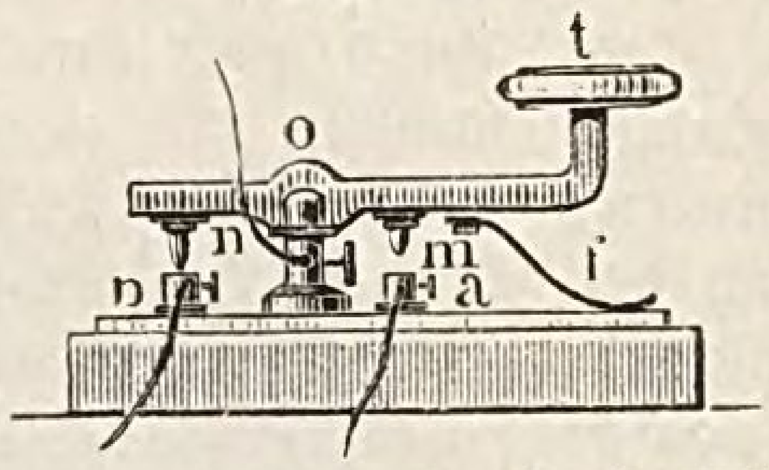



## 1. Der Morsesche Zeichendruck-Telegraph.

Die Einrichtung des Morseschen Telegraphen beruht auf der *magnetisierenden Wirkung* des galv. Stromes.

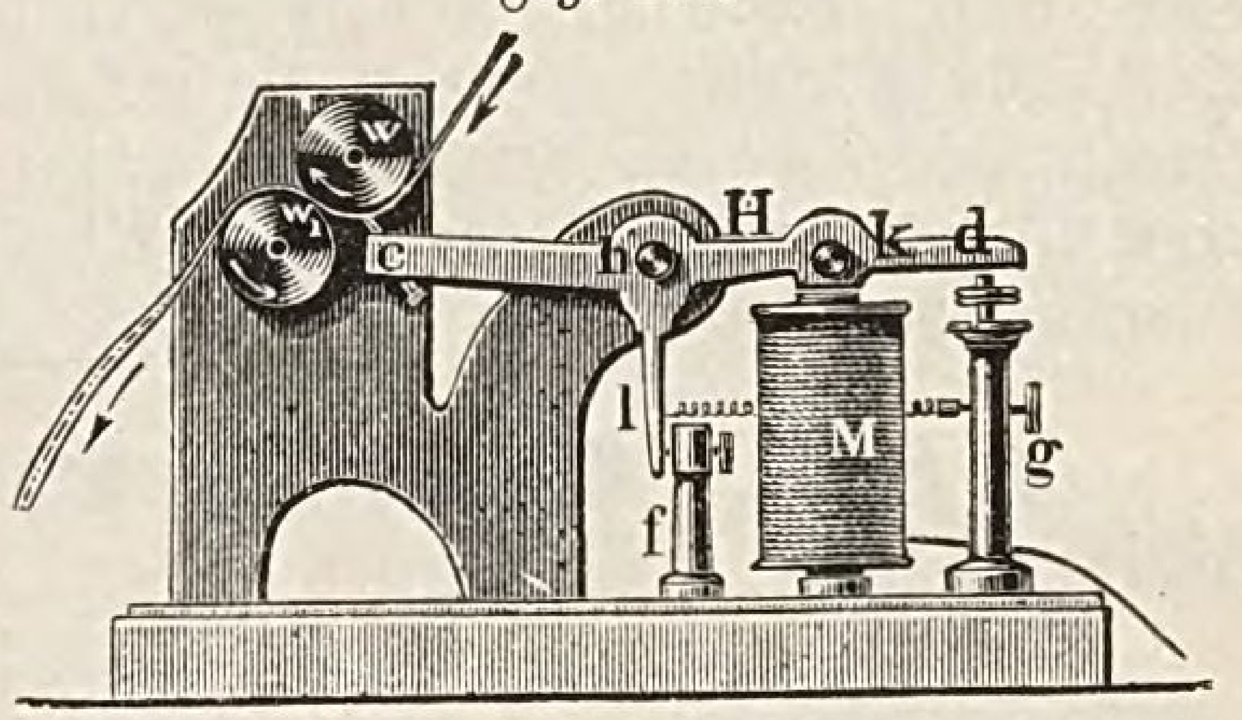
a. Der *Zeichengeber* (Fig. 294) bildet einen zweiarmigen messingenen *Hebel, Taste oder Schlüssel* genannt; er wird so in die Stromleitung eingeschaltet, daß der Strom durch einen Druck auf den Knopf (t) des einen Hebelarmes geschlossen werden kann (vergl. Fig. 291). Eine unter diesem Arme angebrachte Feder (f) bringt den Hebel wieder in seine anfängliche Lage zurück.

Fig. 294.




b. Der *Zeichenempfänger* (Fig. 295) besteht 1) aus einem *Hebel* (H), dessen einer Arm mit einem eisernen Anker (k) und dessen anderer Arm mit einem Stahlstifte (c) versehen ist, 2) aus einem *Elektromagnet* (M), und 3) aus zwei durch ein Uhrwerk gedrehten *Walzen*, zwischen denen ein Papierstreifen liegt, der sich durch die Drehung mit gleichförmiger Geschwindigkeit langsam fortbewegt. Sobald der Strom die beiden Eisenkerne des Elektromagnets (M) umkreist, wird der Anker angezogen und *der Stift drückt eine Vertiefung in den Papierstreifen.* Wird der Strom unterbrochen, so zieht eine (den Seitenarm l des Hebels mit der Säule g verbindende) Spiralfeder den Hebel wieder zurück. Je nachdem der Druck auf die Taste gleich wieder aufhört oder kurze Zeit andauert, entsteht auf dem Papierstreifen ein *Punkt* oder ein *Strich*. Aus Punkten und Strichen ist das ganze Alphabet des Morseschen Telegraphen zusammengesetzt. *Beispiel:*

Fig. 295.




| B | i | t | t | e | u | m | A | n | t | w | o | r | t |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| —··· | ·· | — | — | · | ··— | —— | ·— | —· | — | ·—— | ——— | ·—· | — |

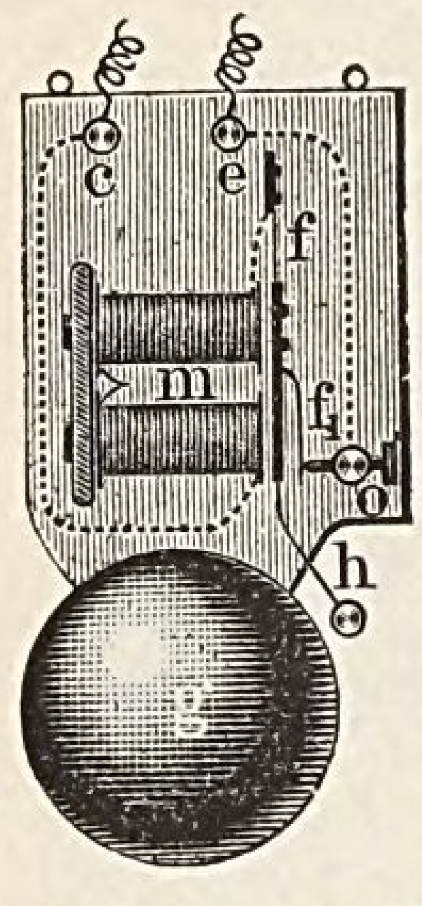
Der Zeichendruck-Telegraph wird in Deutschland allgemein angewandt und ist gegenwärtig überhaupt der gebräuchlichste Telegraphenapparat. Er wurde 1837 von Morse in Nordamerika erfunden.

## 2. Der Nadel-Telegraph.

Beim Nadeltelegraphen kommt die *ablenkende Wirkung* des galv. Stromes zur Anwendung. Der Zeichenempfänger ist ein Multiplikator mit senkrecht stehender Magnetnadel, welche die Zeichen durch Ausschläge nach rechts und links angiebt. Dies wird dadurch erreicht, daß man den Strom in der einen oder in der anderen Richtung um die Nadel leitet; der Zeichengeber ist demnach ein Stromwender. Die Nadeltelegraphen finden ihre hauptsächlichste Anwendung bei unterseeischen Leitungen.

Der Nadeltelegraph wurde einige Jahre vor der Erfindung des Drucktelegraphen von Gauß und Weber in Göttingen (1833) erfunden.

Fig. 296.




**Elektrische Klingel.** Um durch den galv. Strom einfache Glockensignale zu geben, wird ein Selbstunterbrecher (Fig. 296) benutzt, vor dessen Elektromagnet (m) auf einer dünnen, elastischen Feder ein hammerförmiger Anker befestigt ist, der beim Schließen des Stromes an eine Glocke schlägt.

Der von c aus um den Elektromagnet geleitete Strom geht durch den Anker und die hinter demselben angebrachte Feder zur Schraube o und zur Batterie zurück. Sobald der Anker vom Elektromagnet angezogen wird und der Hammer an die Glocke schlägt, ist der Strom unterbrochen, da dann die Feder den Schraubenstift nicht mehr berührt. Der Anker schnellt daher wieder zurück, schließt den Strom von neuem, wird infolgedessen abermals angezogen u. s. w. Zur Stromerzeugung benutzt man Braunsteinelemente oder Trockenelemente. Die Leitung besteht aus umsponnenem Kupferdrahte und wird durch den sogen. Druckknopf geschlossen, d. h. durch einen Porzellanknopf, der beim Niederdrücken zwei federnde Metallstreifen in Berührung bringt.

---

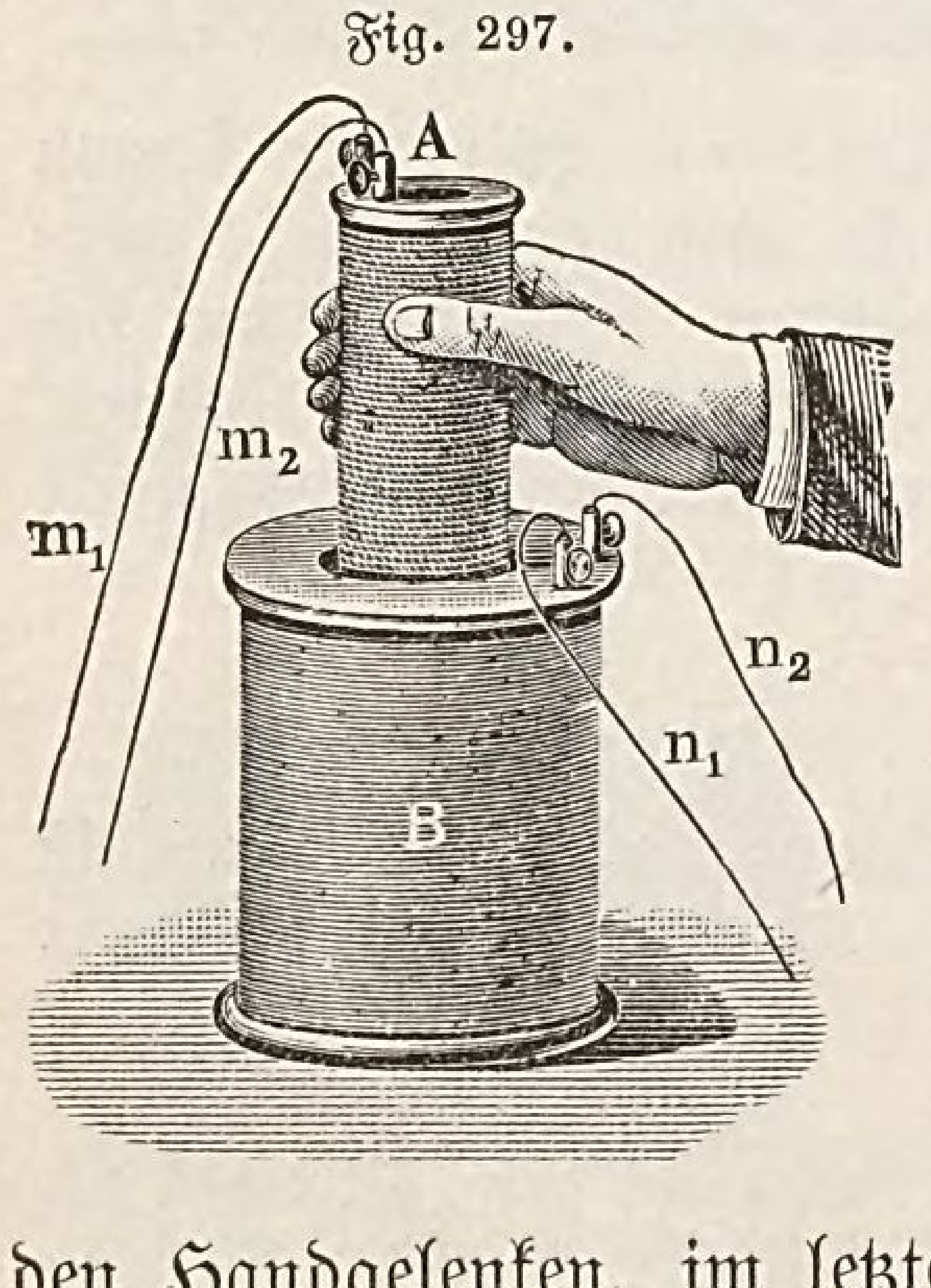
**Übungsstoff.** 1. Ein Blitzableiter wurde für schadhaft erklärt, weil beim Hindurchleiten des galv. Stromes ein Ausschlag der Magnetnadel des Galvanoskopes nicht erfolgte; die Nadel stand quer zum Bügel. War der Schluß richtig? — 2. Welche wichtigen Entdeckungen mußten erst gemacht werden, ehe elektromagnetische Telegraphen erfunden werden konnten? — 3. Gieb die Richtung an, in welcher der Strom von der Batterie $E_1$, Fig. 291, nach der Station A gelangen würde, wenn man den Hebel des Zeichengebers $T_1$ niederdrückte? — 4. Warum wird dieser Telegraph elektro-magnetischer und warum elektromagnetischer Telegraph genannt? — 5. Warum sind die Telegraphendrähte nicht unmittelbar an den hölzernen Stangen befestigt? — 6. Die an Eisenbahnen benutzten Signalstangen, welche oben eiserne Arme tragen, kann man optische Telegraphen nennen; w.? (Optik ist die Lehre vom Lichte.) — 7. Wie hilft man sich bei diesen Telegraphen nachts? — 8. Welche Vorteile gewähren die elektromagn. Telegraphen im Vergleiche mit den optischen Telegraphen? — 9. In welcher Weise läßt sich der galv. Strom verwenden, um einfache Glockensignale zu geben? — 10. Welche Teile der el. Klingel, Fig. 296, müssen aus Eisen bestehen, u. w.?

---

## § 84*. Elektrische Wirkung (Induktion). Telephon und Mikrophon.

Wie durch einen Magnet im Eisen Magnetismus, durch einen el. Körper in einem in der Nähe befindlichen Leiter Elektricität erregt wird, so erregt ein galv. Strom in einem benachbarten Leiter einen galv. Strom. Hiervon kann man sich leicht überzeugen, wenn man zwei Holzspulen ineinanderschiebt (Fig. 297), von denen die engere (A) mit einigen Windungen ziemlich dicken, die weitere (B) mit sehr vielen Windungen dünnen, mit Seide übersponnenen Kupferdrahtes umwickelt ist, die Enden des dicken Drahtes ($m_1$ und $m_2$) mit einem galv. Elemente verbindet und die des dünnen Drahtes ($n_1$ und $n_2$) entweder mit feuchten Händen anfaßt oder mit einem sehr empfindlichen Galvanoskope in Verbindung bringt. Unterbricht man dann den galv. Strom, so giebt sich seine Wirkung im ersteren Falle durch ein Zucken in den Handgelenken, im letzteren Falle durch einen kurzen Ausschlag der Magnetnadel zu erkennen. Beim Schließen des Stromes ist die Wirkung etwas schwächer. In beiden Fällen aber ist sie um so stärker, je mehr Windungen die äußere Spule enthält.

Fig. 297.

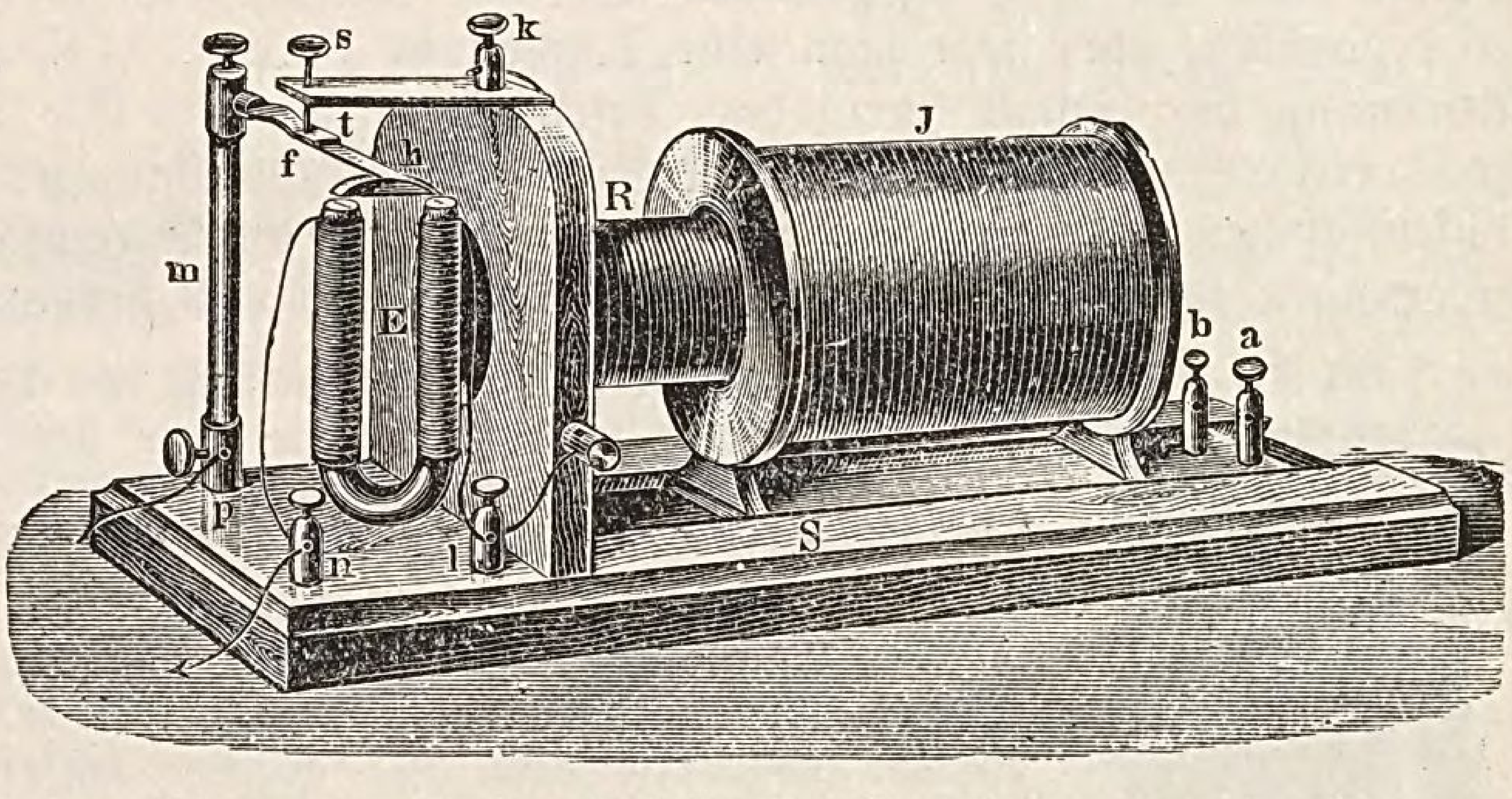


Diese Erscheinungen lassen sich auch ohne Unterbrechung des Stromes dadurch hervorrufen, daß man ihn verstärkt oder schwächt, oder dadurch, daß man die engere Spule in die weitere schnell hineinschiebt und schnell wieder herauszieht; ferner überhaupt ohne Anwendung eines galv. Elementes einfach dadurch, daß man statt der engeren Spule ein Bündel dünner Drähte von weichem Eisen in die weitere Spule schiebt und den Drahtenden einen kräftigen Stabmagnet nähert und ihn dann wieder entfernt, oder daß man den Magnet selbst in die Spule schiebt und wieder herauszieht.

Ein galv. Strom ruft in einem benachbarten, geschlossenen Leiter beim Schließen und Öffnen, Verstärken und Schwächen des Stromes, sowie bei bloßer Annäherung und Entfernung des Leiters einen Strom von kurzer Dauer hervor; dieselbe Wirkung übt auch ein Magnetpol aus: **Induktionsströme.**

Induktionsströme werden wegen der Wirkungen, die sie auf die Nerven des menschlichen Körpers ausüben, zu Heilzwecken angewandt. Um für diese Zwecke den galv. Strom bequem und schnell unterbrechen und wieder schließen zu können, versieht man die Apparate mit einem Selbstunterbrecher (Fig. 298). Der etwa in p eintretende Strom geht über m f t s k in die Windungen des dickeren Drahtes der Holzspule (R), von da nach l in die Windungen des um den hufeisenförmigen Eisenstab (Elektromagnet) gewickelten Drahtes und kehrt über n zur Batterie zurück. Dadurch wird der Eisenstab magnetisch, zieht den Anker an und unterbricht den Strom, da sich dabei die Feder, an welcher der Anker befestigt ist, ein wenig von der Schraube (s) entfernt.

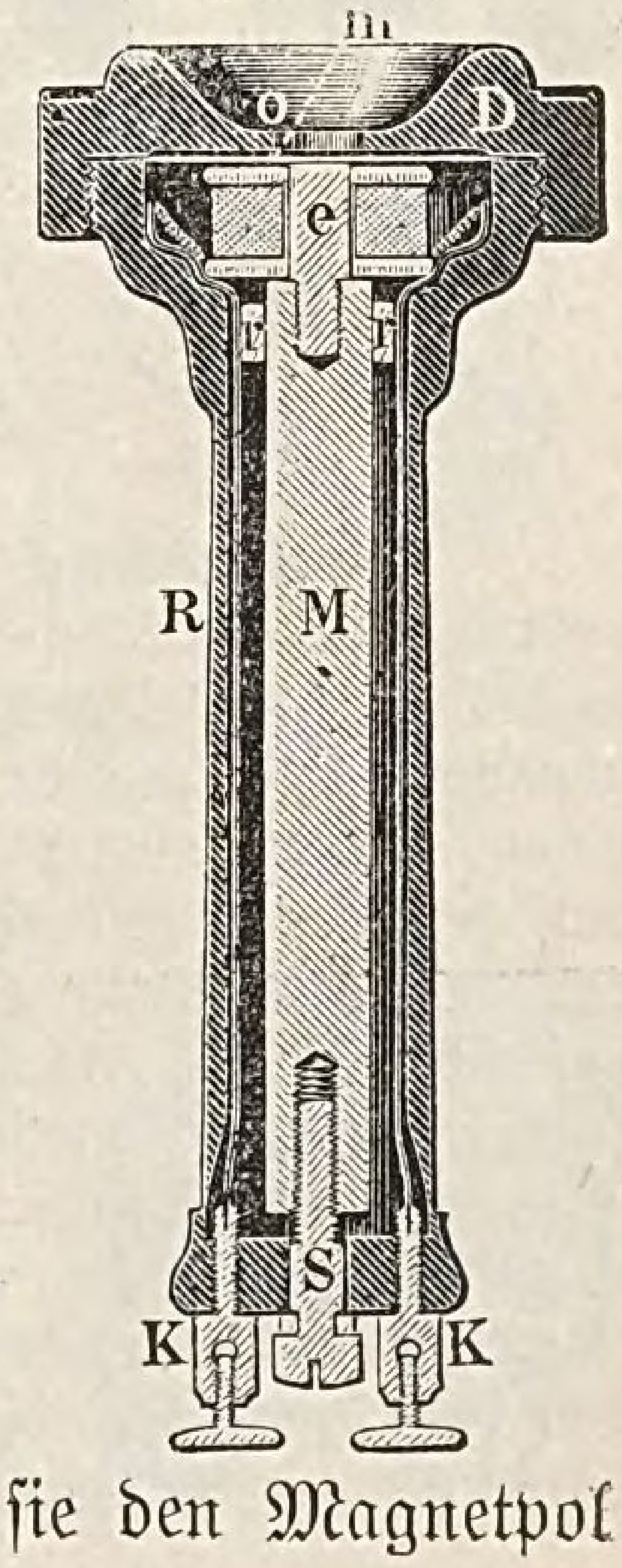
Fig. 298.




Durch die Unterbrechung des Stromes wird der hufeisenförmige Elektromagnet wieder unmagnetisch; er läßt daher den Anker los und die Feder schlägt gegen die Schraube zurück. Der Strom ist dann von neuem geschlossen u. s. w.

Durch Induktionsströme wird jetzt auch vielfach das el. Licht erzeugt (§ 85).

Fig. 299.

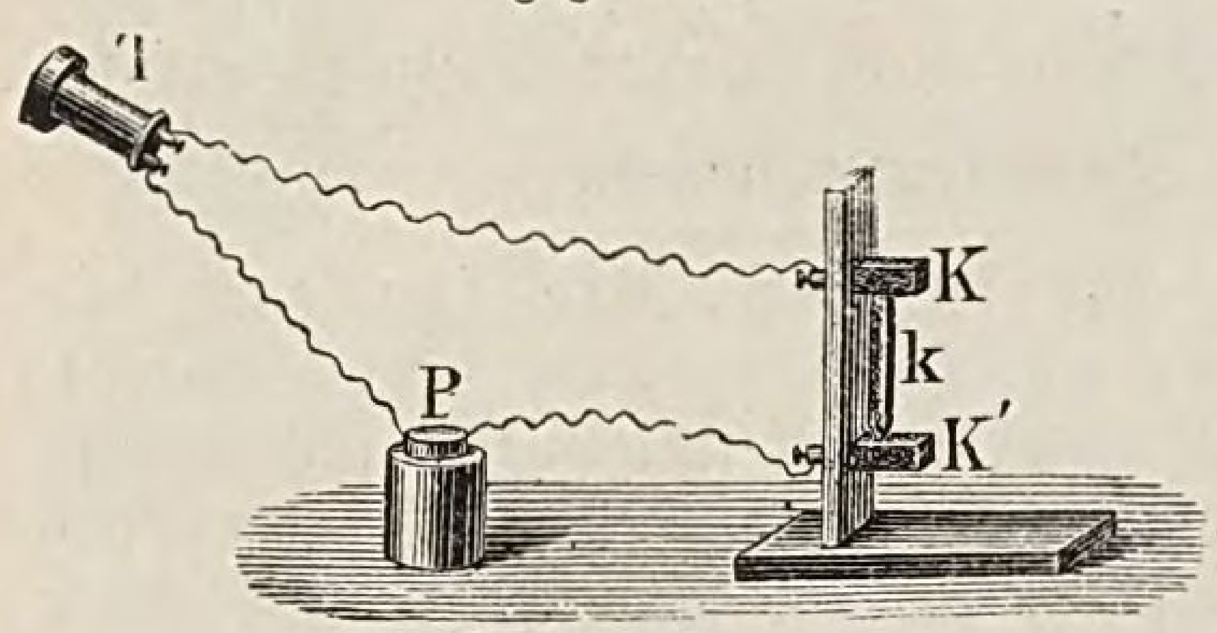



Eine besonders wichtige Anwendung hat die Magnetinduktion durch die Erfindung des **Telephons** oder **Fernsprechers** (Reis 1860, Bell 1876) gefunden. Das magnetelektrische Telephon besteht aus einem Stahlmagnet (M), der in einer Hülse von Holz oder Hartgummi steckt, während auf sein vorderes Ende eine Induktionsrolle geschoben ist (Fig. 299). Diesem Pole gegenüber ist eine sehr dünne Platte (m) von weichem Eisen befestigt, die in Schwingungen gerät, sobald man in das vor der Platte angebrachte Mundstück (D) hineinspricht. Ein ebenso eingerichteter Apparat dient als Empfangstelephon. Beide Telephone sind durch Leitungsdrähte verbunden. — Durch das Schwingen der Platte werden in dem magnetischen Zustande des Magnetstabes Änderungen hervorgerufen, die in den Drahtwindungen der Rolle Induktionsströme erzeugen. Diese pflanzen sich durch die Leitung bis zum Empfangstelephon fort und bewirken hier dadurch, daß sie den Magnetpol

umkreisen, entsprechende Änderungen im magnetischen Zustande, so daß die zugehörige Eisenplatte stärker oder weniger stark angezogen wird und mithin die gleichen Schwingungen ausführt, wie die Platte im Telephon der Absendestation. Auf diese Weise entstehen im Telephon der Empfangsstation dieselben Worte, die in das Telephon der Absendestation hineingesprochen werden.

Um mittelst des Telephons auf größere Entfernungen hin verständlich zu sprechen, muß dasselbe mit einem **Mikrophon** verbunden werden. In dieser Verbindung dient das Telephon nur noch als Hörapparat. Das Mikrophon besteht in seiner einfachsten Einrichtung (Fig. 300) aus einem kleinen, senkrecht stehenden Resonanzboden, auf dem zwei harte Kohlenstäbchen (K und $K_1$) befestigt sind; zwischen diesen ist ein zugespitztes Kohlenstäbchen (k) lose aufgestellt. Auf der Rückseite des Resonanzbodens sind zur Aufnahme zweier Leitungsdrähte Klemmschrauben angebracht und mit den Kohlenstäbchen leitend verbunden. In den Schließungsbogen wird eine galv. Batterie (P) und ein Telephon (T) eingeschaltet.

Fig. 300.




Spricht man nun z. B. gegen den Apparat, streicht man mit einem feinen Haarpinsel darüber, oder legt man eine Taschenuhr darauf, so ist auch noch in größerer Entfernung der Schall durch das Telephon hörbar. — Die Wirkung des Mikrophons erklärt sich daraus, daß durch die Schallschwingungen die Berührung der Kohlenstäbchen sich ändert. Dies hat Einfluß auf die Stromstärke, wodurch wieder Änderungen im magnetischen Zustande des Telephons hervorgerufen werden.

Fig. 301.

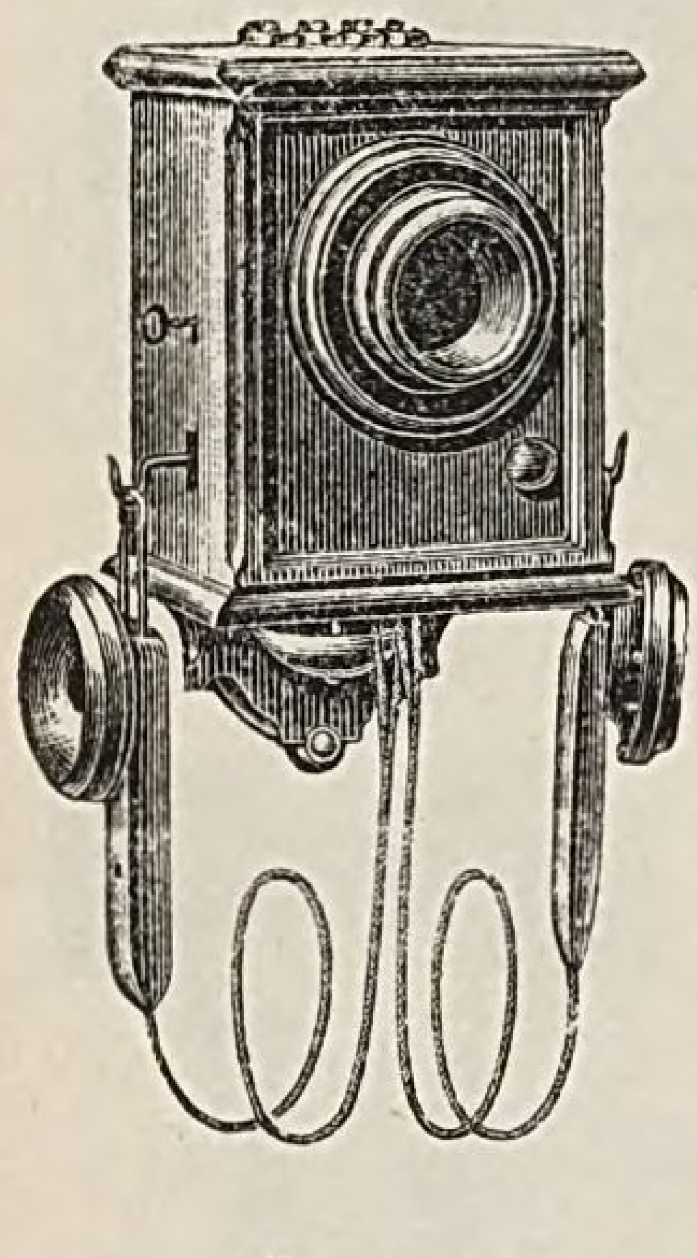


Fig. 301 stellt eine Verbindung von Telephon und Mikrophon dar, wie sie an zahlreichen Orten für den Fernsprechverkehr eingeführt ist. Das Mikrophon ist in ein Gehäuse eingeschlossen, dessen vordere Wand in der Mitte den Schalltrichter enthält. Dicht hinter diesem liegt die den Resonanzboden bildende dünne Platte mit den zugehörigen Kohlenstäbchen. Von den beiden seitlich hängenden Telephonen dient eins für den Ortsverkehr, während für den Verkehr nach auswärts (für größere Entfernungen) beide zugleich als Hörapparate benutzt werden. Unter dem Gehäuse ist die Signalglocke angebracht.

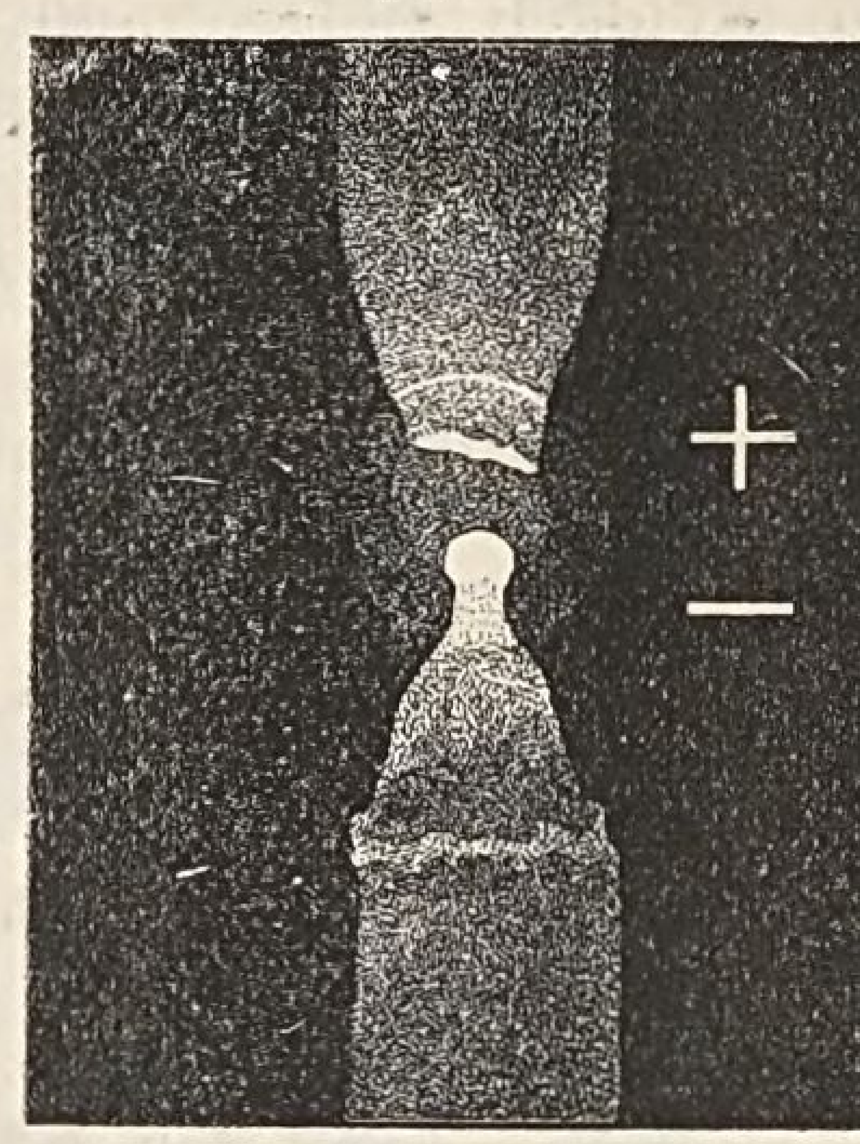
Für den Telephonverkehr sind z. B. die Geschäftshäuser einer Stadt mit einer Hauptstation (Postamt) leitend verbunden. Dieser Station wird zunächst durch Angabe einer bestimmten Nummer mitgeteilt, mit wem man sprechen will. Ist dies geschehen, so werden auf der Hauptstation die nach den beiden Geschäftshäusern führenden Drähte miteinander in leitende Verbindung gebracht.

---

**Übungsstoff.** 1. Dem Ende eines Eisenstabes werde ein Magnet bis zur Berührung genähert und darauf wieder entfernt. Welchen Einfluß übt dies auf den Stab aus? — 2. Welche Zustandsänderung tritt in einem guten Leiter ein, wenn ihm ein el. K. genähert und wieder entfernt wird? (Dauer dieser Änderung!) — 3. Wodurch kann in einem geschlossenen Leiter (der Drahtrolle B, Fig. 297) ein el. Strom erzeugt werden, ohne daß der Leiter mit einem galv. Elemente verbunden wird? — 4. Was ist über die Dauer der auf diese Weise erzeugten Ströme anzuführen? — 5. Welchen Zweck mag es haben, daß bei dem in Fig. 298 dargestellten Apparate die Spule J verschiebbar ist, da doch der Induktionsstrom durch Öffnen und Schließen des Hauptstromes erzeugt wird? — 6. Welchen Weg legt der Strom zurück, wenn er bei n in jenen Apparat eintritt? — 7. Erkläre die Selbstunterbrechung. — 8. Welche el. Ströme bieten den Vorteil, daß man die Stromstärke durch Vermehrung der Drahtwindungen nach Bedarf vergrößern kann? — 9. Welche Art der Induktion kommt beim Telephon zur Anwendung? — 10. Wie erklärt sich die Wirkung des Mikrophons?

**§ 85*. Wärme- und Lichtwirkung. Elektrisches Licht und el. Maschinen.** Durch starke galv. Ströme läßt sich zwischen den Spitzen zweier Stäbchen aus harter Kohle ein sehr heller Lichtbogen hervorrufen (Fig. 302). Zu diesem Zwecke werden die Kohlenstäbchen mit den Poldrähten leitend verbunden und einander zunächst bis zur Berührung genähert. Dadurch erhitzen sich infolge des großen Leitungswiderstandes die Enden der Stäbchen bis zur Weißglut. Entfernt man sie dann voneinander, so bilden die glühenden Dämpfe der verbrannten Kohle eine leitende Verbindung. Dabei werden durch den Strom vorzugsweise vom +Pole glühende Kohlenteilchen losgerissen und nach dem —Pole hinübergeführt: **Elektrisches Bogenlicht.** Das Kohlenstäbchen, welches den +Pol bildet, höhlt sich infolgedessen kraterförmig aus, während das negative Stäbchen seine Form nur wenig ändert. Vergleiche mit verschiedenen anderen Lichtquellen haben ergeben:

Fig. 302.



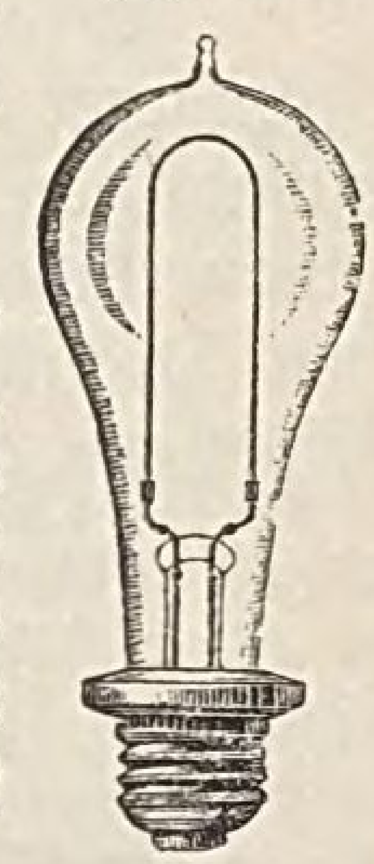

Von allen irdischen Lichtquellen hat das el. Licht die stärkste Leuchtkraft.

Die Temperatur des el. Lichtbogens beträgt mehrere tausend Grad.

Eine starke Erhöhung der Temperatur tritt auch in dünnen Drähten ein, die in den galv. Strom eingeschaltet werden (§ 80), und zwar wird durch denselben Strom um so mehr Wärme erzeugt, je größer der Leitungswiderstand der Drähte ist. Umgekehrt läßt sich durch Wärme auch ein galv. Strom hervorrufen. Werden zwei an ihren Enden zusammengelötete Metallstreifen (z. B. Eisen und Neusilber) an einer der beiden Lötstellen erhitzt, so entsteht ein schwacher galv. Strom: **Thermostrom.**

Schaltet man statt der Kohlenstäbchen eine dünne Kohlenfaser in den galv. Strom ein (Fig. 303) und läßt diese in einem birnförmigen, luftleer gemachten Glasballon glühen, so erhält man das **elektrische Glühlicht.** Die Glasbirne muß luftleer sein, weil in dem Sauerstoff der atm. Luft die Kohlenfaser bald verbrennen würde.

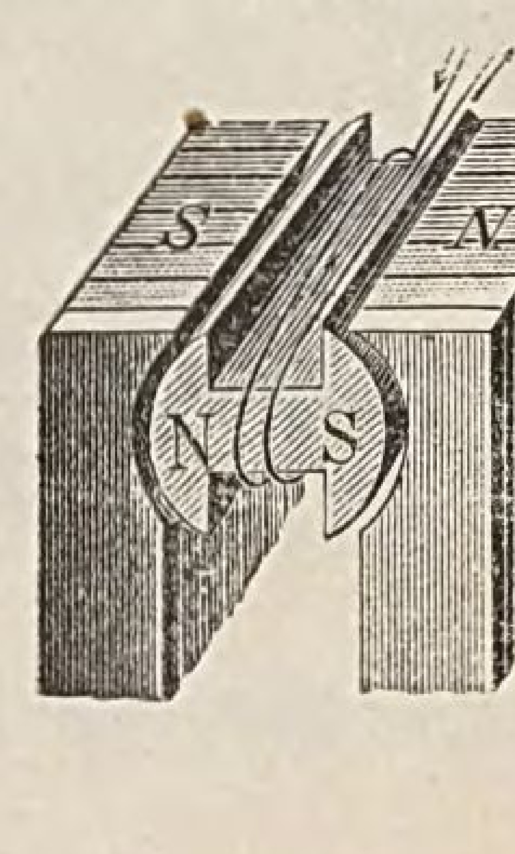
Fig. 303.



Das el. Licht wird in neuerer Zeit immer mehr angewandt, das glänzend weiße Bogenlicht z. B. zur Beleuchtung von Straßen und öffentlichen Plätzen, das weniger grelle, gelbliche Glühlicht in Theatern, Fabrikräumen, Kaufläden u. s. w. — Früher erzeugte man das el. Licht durch den Strom galvanischer Batterien. Da dieses Verfahren jedoch ziemlich unsicher, umständlich und kostspielig ist, so war die Anwendung des el. Lichtes eine sehr beschränkte. Jetzt wendet man zur Erzeugung desselben Induktionsströme an, die durch besonders dazu eingerichtete Maschinen hervorgerufen werden.

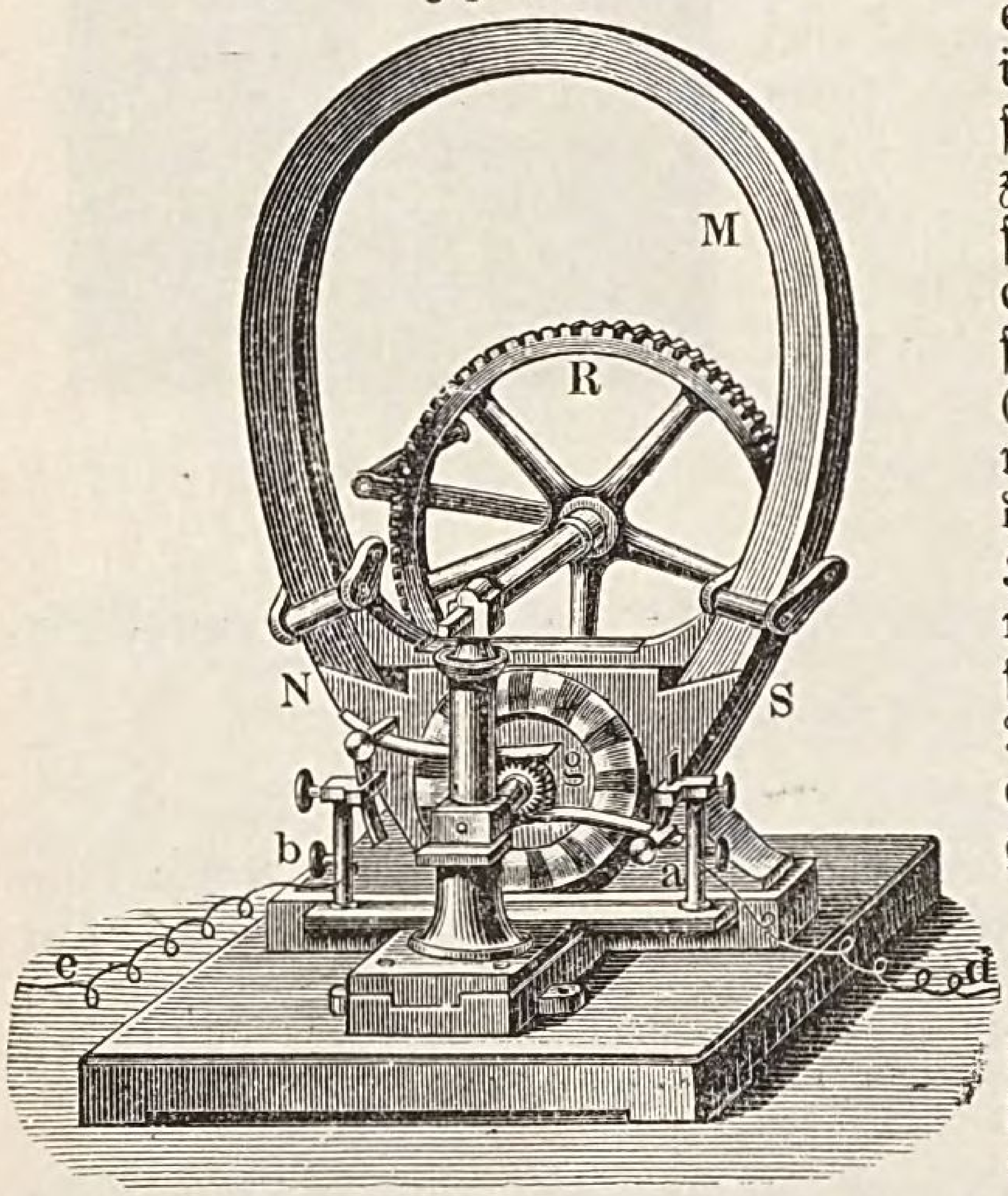
**Magnetelektrische Maschinen.** Die verschiedenen Formen derselben stimmen im wesentlichen darin überein, daß zwischen zwei ungleichnamigen Magnetpolen ein eiserner Anker, der in zahlreichen Windungen mit übersponnenem Kupferdrahte umwickelt ist, in möglichst schnelle Umdrehung versetzt wird (Fig. 304). Indem hierbei die Magnetpole in schnellem Wechsel auf die Drahtwindungen einwirken, entstehen in diesen in ebenso schneller Aufeinanderfolge Induktionsströme. Diese Wirkung wird durch den eisernen Anker, dessen magnetischer Zustand sich dabei nach dem Gesetze der magnetischen Verteilung fortwährend ändert, noch verstärkt.

Fig. 304.



Da die im Anker erzeugten Magnetpole bei jeder Umdrehung wechseln, so wechselt ebenso oft auch die Richtung der in den Drahtwindungen entstehenden Induktionsströme, die man deshalb Wechselströme nennt. Durch geeignete Vorrichtungen (sogen. Stromwender) können die Wechselströme in Ströme von gleicher Richtung (Gleichströme) verwandelt werden. Derartige Ströme erhält man indes auch ohne Stromwender durch Maschinen, in denen statt des beschriebenen sogen. T Ankers eine andere Ankerform angewendet ist, z. B. der Ringanker, den man gewöhnlich (nach einem seiner Erfinder) den Grammeschen Ring nennt.

Fig. 305.

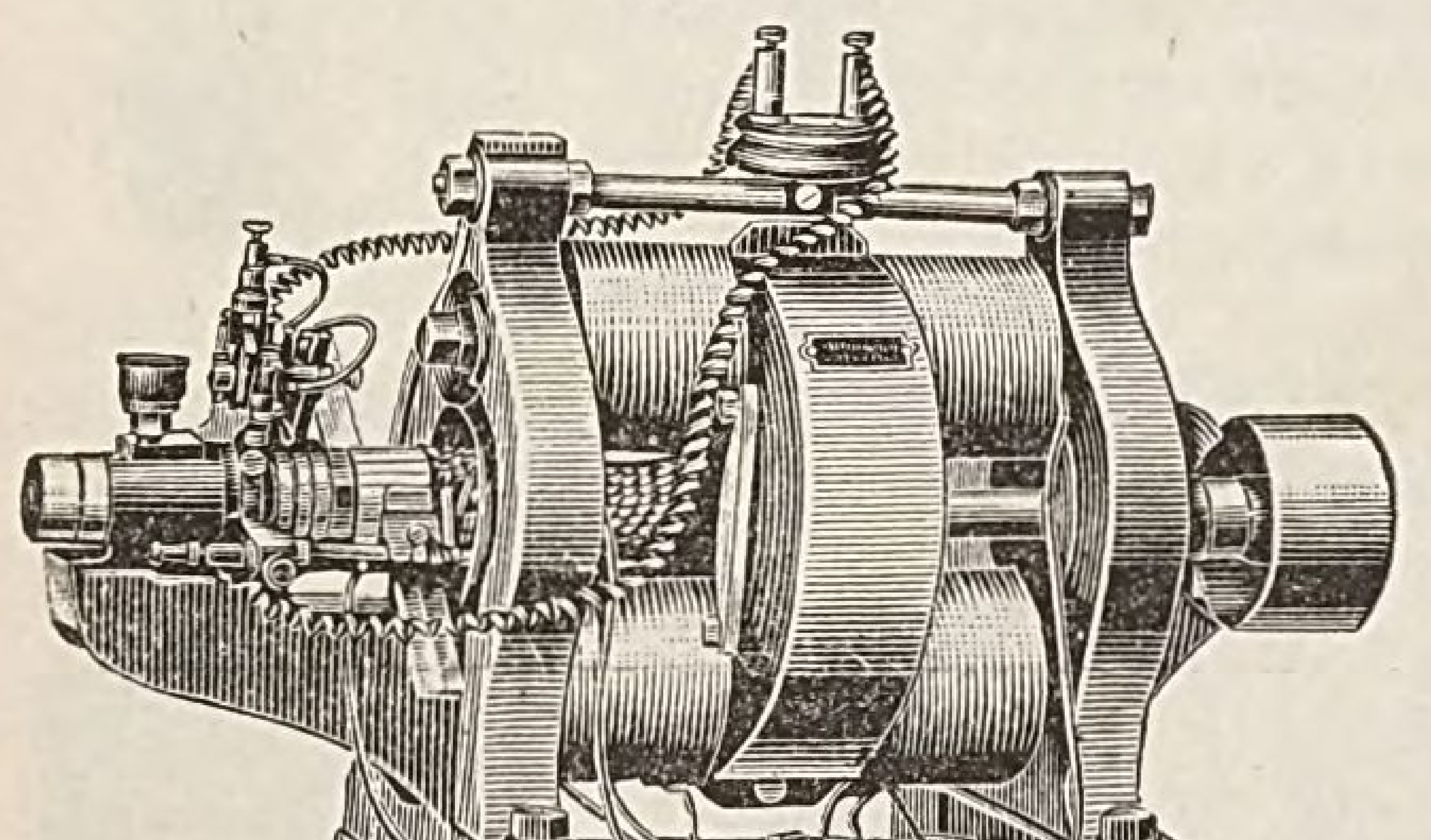



Der Ringanker (g in Fig. 305) besteht aus einem Ringe, der mit einer Anzahl Spulen von isoliertem Kupferdrahte umwunden ist. Der Ring selbst ist aus einem Bündel von Eisendrähten zusammengesetzt. Die Enden der Drahtspulen schließen sich um seine Achse zu einem Hohlcylinder zusammen, an dem zwei Drahtbürsten schleifen. Wenn der Ring zwischen den Polen (N und S) des Hufeisenmagnets (M) gedreht wird, so entstehen in den Drahtwindungen Induktionsströme; diese werden zunächst nach dem Hohlcylinder (Stromsammler) geleitet und von da durch die Drahtbürsten nach den Klemmschrauben und in die Leitungsdrähte geführt. Durch die Anordnung der Spulen erreicht man es, daß man an den Ableitungsstellen stets gleichgerichtete Ströme erhält.

**Dynamomaschinen.** In Elektromagneten kann viel stärkerer Magnetismus erregt werden, als in Stahlmagneten, und der stärkere Magnetismus kann auch wieder stärkere Ströme erzeugen. Dies führte auf den Gedanken, statt der Stahlmagnete Elektromagnete zu verwenden

Siemens hat nun (1867) entdeckt, daß zur Erregung der Elektromagnete ein besonderer Strom nicht erforderlich ist. Es bleibt nämlich in jedem Eisenkerne, der einmal von einem el. Strome umkreist worden ist, etwas Magnetismus zurück. Der magnetische Rückstand dient zur Erzeugung eines schwachen Induktionsstromes in den Drahtwindungen des Ankers; dieser schwache Strom wird nun erst um den Eisenkern geleitet, um dessen Magnetismus zu verstärken. Der stärkere Magnetismus ruft aber auch stärkere Ströme hervor, die nun ihrerseits den Magnetismus wieder verstärken, und so setzt sich diese gegenseitige Verstärkung der Wirkungen bis zur Erreichung der größten Leistungsfähigkeit der Maschine fort.

Fig. 306.



Maschinen dieser Art, bei denen also die zur Drehung des Ankers verwendete Kraft in Elektricität umgesetzt wird, nennt man **dynamoelektrische Maschinen** oder kurz **Dynamomaschinen.**

Fig. 306 zeigt eine für den Handbetrieb gebaute Dynamomaschine. Der Ringanker (sogen. Flachring) ist durch eine Schutzplatte verdeckt und wird durch die wagerecht liegende Welle zwischen den Polen zweier Elektromagnete in rasche Umdrehung versetzt.

Der Stromsammler mit den Schleifbürsten befindet sich links an der Welle, wo auch die Ableitungsdrähte sichtbar sind. Die übrigen Drahtleitungen und die im vorderen Teile des Fußgestelles sichtbaren Metallstöpsel ermöglichen verschiedene Änderungen des Stromlaufes und der Wirkungsweise der Maschine.

**Elektrische Kraftübertragung.** Leitet man den Strom einer Dynamomaschine in die Drahtspulen des Ankers einer zweiten Maschine, so wird dieser dadurch in Umdrehung versetzt. Durch diese drehende Bewegung kann wieder eine Maschine betrieben werden. Die Elektricität kann somit als bewegende Kraft dienen und eine Arbeitsleistung hervorbringen. Man kann z. B. den Strom einer Dynamomaschine in eine Kraftmaschine leiten, die an einem Eisenbahnwagen angebracht ist und durch ihre Umdrehung diesen fortbewegt. Hierauf beruhen die el. Eisenbahnen, die gegenwärtig schon an vielen Orten in Betrieb sind. (Die erste el. Eisenbahn wurde 1881 in Lichterfelde bei Berlin durch Siemens erbaut.)

Apparate, die durch den el. Strom in Bewegung versetzt werden, heißen **el. Motoren** oder **elektromagnetische Maschinen.**

Durch die Erfindung der Dynamomaschinen wurde es möglich, starke galv. Ströme so billig zu erzeugen, daß sie zur Leistung einer Arbeit und auch zur Übertragung einer Arbeitskraft nach einem entfernten Orte hin dienen können. Man treibt z. B. durch Wasserkraft mittelst einer Turbine eine Dynamomaschine; den erzeugten Strom leitet man durch starke Drähte selbst auf größere Entfernungen hin fort und macht ihn auf verschiedene Weise nutzbar, z. B. zum Betriebe von Arbeitsmaschinen (Drehbänken, Bohrmaschinen) in Fabriken und Bergwerken.

Die Umwandlung mechanischer Kraft in el. Strom, die Fortleitung desselben durch einen Draht und seine Rückverwandlung in mechanische Kraft nennt man **elektrische Kraftübertragung.**

Durch geeignete Einrichtungen gelang es (1891), eine el. Kraftübertragung von Lauffen am Neckar nach Frankfurt a. M. (auf eine Entfernung von 175 km) auszuführen. Die Wasserkraft, die sich in Lauffen in el. Strom umsetzte, lieferte in Frankfurt den Strom zur Beleuchtung des Ausstellungsplatzes und setzte eine Pumpe in Bewegung, die wieder einen Wasserfall von 10 m Höhe hervorbrachte.

Die el. Kraftübertragung ermöglicht nicht nur eine Ausnutzung der in der Natur vorhandenen Wasserkräfte, z. B. für el. Beleuchtung, sondern hat dadurch noch eine besondere Bedeutung für die Industrie gewonnen, daß man von einer Centralstelle aus die Maschinen in Fabriken und Werkstätten mit geeigneter Betriebskraft versorgen kann. Der von einer großen Dynamomaschine erzeugte Strom wird nämlich in viele kleine Elektromotoren geleitet und somit gewissermaßen verteilt. In verschiedenen Städten ist die el. Kraftübertragung und Kraftverteilung bereits mit Erfolg eingeführt.

---

**Übungsstoff.** 1. Das el. Bogenlicht strahlt im Verhältnis zu gleichstarker Gasbeleuchtung äußerst wenig Wärme aus. Einfluß auf die Temp. des erleuchteten Raumes und dadurch bedingte Vorzüge des el. Lichtes? — 2. Das kraterförmige Ausbrennen des oberen Kohlenstäbchens (Fig. 302) ist für die Beleuchtung eines größeren Platzes vorteilhaft; inwiefern? — 3. Warum kann diese Ersch. bei Anwendung von Wechselstrommaschinen nicht eintreten? — 4. Warum müssen die Kohlenstäbchen oft erneuert werden? — 5. Wodurch wird beim el. Glühlicht das Verbrennen der Kohlenfaser verhütet? — 6. Inwiefern kann man sagen, daß bei den el. Maschinen durch mech. Arbeit E. erzeugt wird? — 7. Welchen Vorteil bietet es, daß sich die Windungen von den Polen nur sehr wenig entfernen und daß sich der Anker sehr schnell dreht? — 8. Inwiefern ist durch die Dampfkraft überall die Möglichkeit gegeben, die el. Kraft im Großbetriebe zu verwenden? — 9. In Gebirgsgegenden, namentlich in der Schweiz und in Norwegen, hat man vielfach in ganz kleinen Orten (z. B. in Hammerfest) el. Beleuchtung eingerichtet. Warum ist diese Art der Beleuchtung die vorteilhafteste an solchen Orten? — 10. Inwiefern kann man sagen, daß ein Teil der von Lauffen nach Frankfurt auf el. Wege übertragenen Wasserkraft einen vollständigen Kreislauf vollendete?

# 8. Abschnitt.

# Rückblick.

---

**§ 86*. Aufgabe der Physik.** **Naturerscheinungen** sind Veränderungen, welche die Körper erleiden, wenn sie der Einwirkung von Kräften ausgesetzt werden. Um diese Erscheinungen genauer kennen zu lernen, verfährt man, wie aus allem bisher Angeführten hervorgeht, in zweifacher Weise. Entweder beobachtet man die Körper in der Natur selbst, während ihr Zustand sich ändert, oder man stellt, um die Veränderungen leicht und sicher wahrnehmen zu können, Versuche an, d. h. man ruft die Erscheinungen absichtlich hervor. Wir machten bei solchen Beobachtungen stets die Wahrnehmung, daß die Erscheinungen nur unter gewissen Bedingungen eintreten.

Unter welchen Bedingungen zeigten sich z. B. die Erscheinungen, daß ein Hebel belastet im Gleichgewichte ist, daß ein Echo entsteht, daß ein gerader Stab gebrochen aussieht, daß das Quecksilber im Thermometer steigt oder fällt, daß ein Stab von Eisen oder Stahl leicht bewegliche Gegenstände anzieht und festhält, daß zwei Glas-, Hartgummi- oder Siegellack-Stäbe einander abstoßen?

Für alle Naturkenntnis ist es von großer Wichtigkeit, die Bedingungen aufzufinden, unter denen eine Naturerscheinung eintritt. Hat man den Zusammenhang dieser Bedingungen erkannt, so sucht man einen kurzen sprachlichen Ausdruck dafür, den man ein **Gesetz** oder, da sich sein Inhalt auf Naturerscheinungen bezieht, **Naturgesetz** nennt. So hat man z. B. das Gesetz für die Gleichgewichtsbedingungen des Hebels gefunden, wenn man erkannt hat, daß die beiden veränderlichen Größen, durch die das Gleichgewicht des Hebels bestimmt wird, nämlich die Größe der auf den Hebel einwirkenden Kräfte und die Länge der Hebelarme dieser Kräfte, in der Weise voneinander abhängen, daß sich die Kraft zur Last verhalten muß, wie sich der Lastarm zum Kraftarm verhält. Man kann demnach sagen:

<u>Unter „Naturgesetz" versteht man einen kurzen Ausdruck, der den Zusammenhang der Bedingungen angiebt, unter denen eine Naturerscheinung eintritt.</u>

Ausdrücke, wie: Jeder Körper nimmt einen Raum ein (§ 2), oder: Alle Körper der Erde sind schwer (§ 4), werden, sofern sie in kurzen Worten eine allen oder doch vielen Körpern gemeinsame Erscheinung ausdrücken, auch wohl Gesetze genannt.

In allen Fällen strebt man danach, die Naturerscheinungen auf ihre Ursachen zurückzuführen. Oft stehen mehrere Erscheinungen in einem solchen Zusammenhange, daß man die eine als die Ursache der anderen ansehen kann. Man kann z. B. sagen, die Spannung der Schnur des Lotes (Fig. 8) erkläre sich aus dem Zuge des aufgehängten Körpers, der Zug aus der Schwerkraft; die Erscheinung, welche die Messingkugel (Fig. 203) nach ihrer Erwärmung zeigt, erkläre sich aus der Ausdehnung der Kugel, die Ausdehnung aus der Aufnahme von Wärme u. s. w. Die Schwerkraft und die Wärme sind in diesen Fällen die letzten, nicht mehr wahrnehmbaren Ursachen, auf die jene Erscheinungen sich zurückführen lassen.

Die sinnlich nicht mehr wahrnehmbaren Ursachen der Erscheinungen oder der Veränderungen, welche die Zustände der Körper erfahren, haben wir **Kräfte** genannt.

Eine Erscheinung **erklären** heißt, sie auf ihre Ursache zurückführen.

Die Eigenschaften der Naturkörper, sowie die Gesetze und Ursachen der Naturerscheinungen zu erforschen, ist die **Aufgabe der Naturlehre.**

Die Naturlehre zerfällt in **Physik** und **Chemie.** Die Chemie untersucht Erscheinungen, denen eine Änderung des Stoffes zu Grunde liegt, z. B. das Rosten des Eisens, das Verbrennen des Holzes u. s. w.; die Physik dagegen Erscheinungen, welche ohne Änderung des Stoffes vor sich gehen. Da z. B. beim Schmelzen des Eises, beim Verdampfen des Wassers, beim Tönen einer Stimmgabel oder einer Saite, beim Magnetisieren von Eisen oder Stahl u. s. w. zwar der Zustand, in dem der betreffende Körper sich befindet, eine Änderung erleidet, diejenigen Eigenschaften aber, die den Stoff des Körpers kennzeichnen, sich nicht ändern, so gehören diese Erscheinungen in das Gebiet der Physik.

---

**Übungsstoff.** 1. Nenne Eigenschaften, welche a. allen, b. nur gewissen K. zukommen. — 2. Ferner Erschn. der Anziehungs- und Abstoßungskräfte. — 3. Wodurch läßt sich die Wirkung von Druck- und Zugkräften erhöhen? Gesetze! — 4. Wodurch unterscheidet sich der Druck fester K. vom Drucke der flüssigen und luftf. K.? Ursache! — 5. Anwendung des Druckes von W. und Luft? — 6. Nenne Bewegungen, welche a. durch die Schwerkraft allein, b. durch 2 Kräfte entstehen. Gesetze! — 7. Durch welche Art der Bewegung entsteht der Schall? — 8. Durch welches Organ können diese Bewegungen a. erzeugt, b. aufgenommen werden? Einrichtung! — 9. Mit welcher Geschw. pflanzen sie sich in der Luft fort? Echo! — 10. Wie erzeugt man diese Bewegungen künstlich, um angenehme Gehörseindrücke hervorzurufen? Mittel zur Verstärkung derselben! — 11. Wovon ist die Höhe und Tiefe der Töne abhängig? — 12. Welche 3 Vorgänge können eintreten, wenn K. von Lichtstrahlen getroffen werden? — 13. Gesetze über die Richtungsänderung und Farbenzerstreuung des Lichtes? — 14. Führe Erschn. dazu an. — 15. Optische Instrumente? Einrichtung und Zweck? — 16. Vgl. das Auge mit der Camera obscura. — 17. Was veranlaßte die Annahme zweier Magnetismen und zweier Elektricitäten? — 18. Nenne Wirkungen a. der Wärme, b. des Magnetismus, c. der E.! — 19. Welche Unterschiede traten hervor in Bezug auf die Leitung der Wärme und der E.? — 20. Andere Arten der Fortpflanzung der Wärme? — 21. Wärmevorgänge beim Wechsel der Aggregatzustände? — 22. Entstehung der atm. Niederschläge? — 23. Instrumente zum Nachweis der Luftfeuchtigkeit und des Luftdruckes? — 24. Entstehung der Winde in unseren Gegenden? — 25. Ursachen der Passatwinde? — 26. El. Erschn. in der Atm.? — 27. Welche Kraft läßt sich dadurch hervorrufen, daß ein Metall in einer Flgk. verbrennt? Einrichtung der Apparate? — 28. Wie läßt sich dieselbe Kraft durch Magnete erzeugen? — 29. Wirkungen dieser Kraft? — 30. Bedeutung derselben für das praktische Leben?

# Geschichtliche Übersicht.

**Archimedes** († 212 v. Chr. in Syrakus) begründet die Lehre vom Gleichgewicht der festen und flüssigen Körper.

Hebelgesetz, Schraube ohne Ende, Flaschenzug; Archimedisches Prinzip.

**Heron von Alexandrien** (um 120 v. Chr.) erfindet den Heronsball.

Claudius **Ptolemäus** (um 120 n. Chr. (?) in Alexandrien), einer der bedeutendsten Astronomen des Altertums.

Untersuchungen über das Licht (das Sehen, Reflexion und Brechung des Lichtes, Spiegelung).

Nikolaus **Kopernikus** (geb. 1473 in Thorn, † 1543 in Frauenburg) begründet das nach ihm benannte „Weltsystem". (Lehre von der Bewegung der Erde um ihre Achse und um die Sonne.)

William **Gilbert** († 1603 in London) legt den Grund zu einer wissenschaftlichen Untersuchung der magnetischen und elektrischen Erscheinungen.

Simon **Stevinus** († 1620 in Leyden) entdeckt das Gesetz der schiefen Ebene und den Satz vom Bodendruck der Flüssigkeiten, ergänzt das archimedische Prinzip.

Galileo **Galilei** († 1642 in Florenz) verteidigt das Kopernikanische System; begründet die Lehre von der Bewegung (Beharrungsgesetz, Fallgesetze, Lehre vom Wurf, Pendel, Parallelogramm der Kräfte); konstruiert ein Fernrohr (Mondberge, Jupitermonde, Phasen der Venus, Sonnenflecken) und erfindet das Thermometer.

Olaf **Römer** bestimmt die Lichtgeschwindigkeit (1676).

Johannes **Kepler** (geb. 1571 im Württembergischen, † 1630 in Regensburg), Entdecker der Gesetze über die Bewegung der Planeten um die Sonne. Untersuchungen über das Licht (Spiegelung und Brechung der Lichtstrahlen, — das Brechungsgesetz entdeckt Snellius 1621 — Einrichtung des Auges, das Sehen; astronomisches Fernrohr).

Isaak **Newton** (geb. 1643, † 1727), Entdecker der Gesetze über die Bewegungen der Weltkörper. Untersuchungen auf dem Gebiete der Lichtlehre: farbige Zerlegung des weißen Lichtes, natürliche Farben der Körper, Spiegelteleskope.

Evangelista **Torricelli** († 1647 in Florenz) entdeckt den Luftdruck und erfindet das Quecksilberbarometer.

Otto **von Guericke** († 1668) wendet sein Wasserbarometer als „Windanzeiger" an, erfindet die Luftpumpe (1650) und eine einfache Elektrisiermaschine.

Robert **Boyle** erfindet die Verdichtungspumpe.

**Fahrenheit** (1720), **Réaumur** (1730) und **Celsius** (1730) führen die jetzt gebräuchlichen festen Punkte am Thermometer ein und verwenden Quecksilber und Alkohol zur Füllung desselben.

Denis **Papin** († 1742) untersucht die Abhängigkeit des Siedens vom Luftdrucke und benutzt die Spannkraft des Dampfes zur Bewegung eines Kolbens (1687).

James **Watt** († 1819) beschäftigt sich mit Untersuchung der Elasticität des Dampfes und erfindet die Dampfmaschine.

Im 18. Jahrhundert wurde durch eine Reihe von Forschern die Lehre von der Reibungs-Elektricität wesentlich gefördert. Es sind dies besonders:

**Gray**, der den Unterschied der Leiter und Nichtleiter entdeckt (1729);

**Du Fay**, der Glas- und Harz-Elektricität unterscheidet (1733);

**Franklin**, der die elektrische Natur des Gewitters nachweist und den Blitzableiter erfindet (1750).

Die Berührungs-Elektricität wurde entdeckt durch **Galvani** (1790) und durch **Volta** (1793), der schon vorher den Elektrophor und den Kondensator (zum Nachweis sehr geringer Elektricitätsmengen) erfunden hatte.

Alexander von **Humboldt** beschäftigt sich mit Untersuchungen über den Erdmagnetismus und bestimmt gemeinsam mit **Arago** die Geschwindigkeit des Schalles in der Luft durch Versuche (bei Paris 1822).

**Ampère** erforscht die Wirkungen des galv. Stromes, angeregt durch Oersteds Entdeckung der Einwirkung desselben auf die Magnetnadel (1820).

**Gauß** und **Weber** in Göttingen stellen (1833) den ersten el. Telegraphen her.

Der Drucktelegraph wurde erfunden von **Morse** (1837), die Galvanoplastik von **Jacobi** (1838), das Telephon von **Reis** (1860) und **Bell** (1876), das Mikrophon von **Hughes** (spr. juhs) 1877.

**Faraday** († 1867 in London), „der erste aller Experimentatoren", entdeckt die Induktionselektricität (1831) und die Gesetze der chemischen Wirkungen des galv. Stromes.

Faradays Entdeckungen sind von großer Bedeutung, da auf ihnen der gewaltige Aufschwung beruht, den die technischen Anwendungen der Elektricität in den letzten drei Jahrzehnten genommen haben.

Werner von **Siemens** († 1892 in Berlin), der „James Watt des Elektromagnetismus". (Telegraphie, unterseeische Kabel, Telephon, Dynamomaschine, el. Eisenbahn.)

# Register.

Die angegebenen Zahlen bedeuten die Seiten des Buches.

# Chemie und Mineralogie.

Als Anhang zu Dr. K. Sumpfs

## Anfangsgründen der Physik

neu bearbeitet

von

M. Nittag.



Mit 19 in den Text gedruckten Abbildungen.

Preis geh. 40 Pfg.

Hildesheim 1896.
Druck und Verlag von August Lax.

6

# Chemie und Mineralogie.

Als Anhang zu Dr. K. Sumpfs

## Anfangsgründen der Physik

neu bearbeitet

von

M. Mittag.

Mit 19 in den Text gedruckten Abbildungen.

Preis geh. 40 Pfg.

18 — 52

Hildesheim 1896.
Druck und Verlag von August Lax.

# Chemie und Mineralogie.

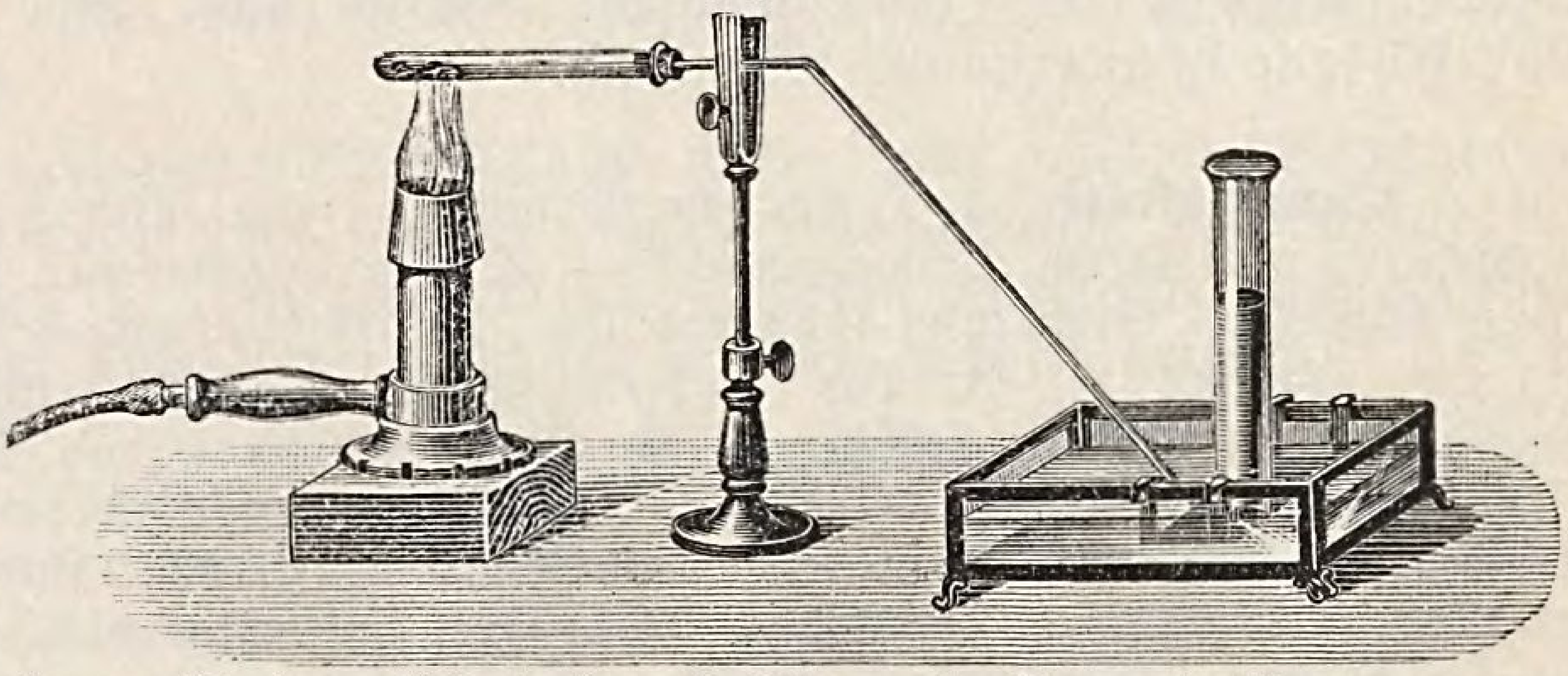
**§ 1. Untersuchung eines braunen Pulvers.** Wir haben ein dunkelbraunes, ziemlich schweres Pulver vor uns, welches bei der Herstellung von Zündhölzchen verwendet wird. Von demselben erhitzen wir eine reichliche Messerspitze voll in einem Probiergläschen. Bringen wir hierauf ein glimmendes Hölzchen in die Mündung des Glases, so tritt Entflammung ein. Es muß sich also ein Gas entwickeln, welches die Verbrennung viel kräftiger unterhält als atmosphärische Luft. Diese Luftart heißt Sauerstoff. Als Rückstand im Glasröhrchen bleibt eine gelbliche Masse. — Letztere erhitzen wir mit dem Lötrohre auf Holzkohle. Wir erhalten ein Metallkorn, welches leicht zu schneiden und auf frischer Fläche silberweiß ist: es ist Blei.

Das braune Pulver hat sich somit in zwei Bestandteile trennen lassen, nämlich in Sauerstoff und in Blei. Diese sind ihrerseits nicht wieder zerlegbar. Deshalb werden sie Grundstoffe oder Elemente genannt. Das braune Pulver bezeichnen wir als eine Verbindung, und zwar als Sauerstoffblei, da sich zu seiner Bildung Sauerstoff und Blei verbunden haben.

Sauerstoffblei, ein braunes Pulver, ist eine chemische Verbindung. Es besteht aus den chemischen Elementen Sauerstoff und Blei.

Die kräftige Verbrennungswirkung des Sauerstoffs zeigen noch folgende Versuche. In geeigneten Standcylindern fängt man Sauerstoff mit Hilfe der pneumatischen Wanne auf (Fig. 1)*). Bringt man ein Stück glimmende Holzkohle in den Sauerstoff, so leuchtet sie hell auf. Taucht man ferner etwas Uhrfederstahl, an welchem unten Feuerschwamm glimmt, in den Sauerstoff, so verbrennt das Eisen unter glänzendem Funkensprühen. Eine blauschwarze, leicht zu pulvernde Kugel bleibt zurück: offenbar Sauerstoffeisen. Eisen sowohl, als auch Kohle, welche beide Elemente sind, verbinden sich daher heftig mit Sauerstoff.

Fig. 1.



**Übungsstoff.** 1. Wodurch wird aus Sauerstoffblei der Sauerstoff abgeschieden? — 2. Woran erkennt man diesen? — 3. Erkläre den Gebrauch der pneumatischen Wanne (pneuma-Luft)! — 4. Das verbrannte Eisen färbt das Wasser braun. Was läßt sich daraus bezüglich des Rostes schließen? — 5. In dem Gefäße, wo die Kohle verbrannt wurde, erlischt ein brennendes Streichholz. Was folgt daraus? (Sauerstoffkohle). — 6. Woraus kann man schließen, daß der gelbe Rückstand ebenfalls Sauerstoffblei ist? — 7. Wieso ist das Lötrohr ein Mittel, um die Richtung der Flamme beliebig zu ändern? — 8. Warum wird das braune Sauerstoffblei zu dem angegebenen Zwecke benutzt? — 9. Wie kann man zeigen, daß das verbrennende Eisen den Sauerstoff aufgenommen hat? — 10. Nähere dem schwarzen Sauerstoffeisen einen Magnet! Was geschieht?

*) Man erhitzt das Pulver am besten in einer schwer schmelzbaren Röhre.

**§ 2. Verhalten der Metalle an der Luft.** Die Metalle kennzeichnen sich durch ihren Metallglanz, den sie wenigstens auf frischer Fläche deutlich zeigen. Mit Ausnahme einiger Legierungen oder Metallgemenge (z. B. Messing) sind sie alle Grundstoffe. Diejenigen, welche einen dauernden und lebhaften Glanz besitzen, sind seltener, zu Schmuckgegenständen sehr gesucht und heißen edle Metalle. Die anderen verlieren ihren Glanz mehr oder weniger leicht und werden Gemeinmetalle genannt.

Eisen, Kupfer, Zink, Blei, Zinn, Nickel, Quecksilber, Silber, Gold und Platin sind Elemente. Die ersten sieben sind unedle, die anderen edle Metalle.

Magnesium und Aluminium — ebenfalls metallische Elemente — haben ein auffallend geringes Eigengewicht (1,7 und 2,6). Ersteres verbrennt leicht an der Luft mit sehr hellem Licht.

Eisen rostet leicht; Kupfer wird schwärzlich; Blei und Zink überziehen sich mit einer dünnen grauen Schicht. Die Veränderungen der Gemeinmetalle an der Luft treten besonders stark hervor, wenn Wasser und Wärme mitwirken. Eisen blättert beim Schmieden oder sonst beim Glühen und bildet den Hammerschlag. Blei verwandelt sich bei starkem Erhitzen schnell in ein gelbgraues Pulver. Daraus ist zu schließen, daß in der Luft Sauerstoff vorhanden ist (Fr. 7). Zinkspäne und Zinnblatt (Stanniol) verbrennen in heißer Flamme zu einem weißen Pulver. Da der Sauerstoff mit seinem griechischen Namen Oxygenium*) heißt, so nennt man die Sauerstoffverbindungen Oxyde.

Die unedlen Metalle erleiden an der atmosphärischen Luft Veränderungen. Diese beruhen darauf, daß sich die Metalle mit dem Sauerstoff der Luft zu Oxyden verbinden.

Wichtige Legierungen des Kupfers sind Messing (K. und Zink) und Bronze (K. und Zinn); diese dient zur Anfertigung von Kanonen, Glocken, Büsten. Neusilber besteht aus Kupfer, Zink und Nickel. Quecksilberlegierungen heißen Amalgame; Zinnamalgam benutzt man zum Belegen von Spiegeln. Weißblech ist verzinntes Eisenblech.

---

**Übungsstoff.** **1.** Ordne die Metalle a. nach ihrer Härte, b. nach ihrem Eigengewicht, c. nach ihrem Schmelzpunkt! — **2.** Die verschiedenen Eigenschaften von Roheisen (oder Gußeisen), Stahl und Schmiedeeisen. Der Kohlenstoffgehalt ist bez. 4 %, 1,3 % und 0,1 %. Schluß? — **3.** Die Anwendung des Eisens, Messings, Zinks, Bleis, Zinns, Kupfers im praktischen Leben. — **4.** Die Anwendung von Quecksilber, Platin, Kupfer, Zink, Blei in der Physik. — **5.** Welches Gemeinmetall ist bei gewöhnl. Temp. sehr luftbeständig? Wie schützt man daher das Eisen? — **6.** Was sind Metallaschen? — **7.** Man wäge ein wenig Blei ab, verwandle es in Oxyd und wäge wieder! Ergebnis? Warum? — **8.** An welchen Teilen unserer Herde und Öfen sieht man, daß die Oxydation durch höhere Temp. befördert wird? — **9.** Man untersuche Hammerschlag mit einem Magnet und vgl. mit § 1, Fr. 10! — **10.** Warum muß die atm. Luft noch ein anderes Gas enthalten? — **11.** Was ist Eisenrost? Welcher Körper begünstigt das Rosten in hohem Grade? — **12.** Warum findet man Gold und Platin nur gediegen? Nenne Fundorte! — **13.** Was bezeichnet man als sog. Grünspan? Warum erscheint er auch auf Messing? — **14.** Es ist darzulegen, daß in der Luft Sauerstoff vorhanden ist. — **15.** Leitet man einen Luftstrom durch geschmolzenes Eisen, so verringert sich dessen Kohlenstoffgehalt. Wie lassen sich daher Stahl und Schmiedeeisen aus Roheisen gewinnen? — **16.** Warum ist darauf zu achten, daß Töpfe (namentlich solche von Blech) nicht leer über dem Feuer stehen? — **17.** Welches bemerkenswerte Verhalten zeigen die Metalle gegen Wärme und Elektricität?

---

*) oxys = sauer; gennaein = erzeugen.

§ 3. **Metalloxyde** in der Natur. Roteisenstein tritt in verschiedenen Formen auf. Als Eisenglanz ist er schwarzgrau und metallglänzend (Fundort: Schweden), als Blutstein strahlig und rot (England, Böhmen), als Thoneisenerz mit Thon gemengt. Brauneisenstein ist wasserhaltiger Roteisenstein; Arten desselben sind der Raseneisenstein und die Eisenniere (letztere in rundlichen Absonderungen vorkommend). Magneteisenerz kommt in Schweden vor, ist schwarz metallglänzend und magnetisch (Kristallform Fig. 2). Das Zinnerz (Fig. 3) sieht glänzend schwarzbraun aus und findet sich im Erzgebirge, in England, auf Malakka und Banka. Das Rotkupfererz ist rotglänzend und kristallisiert in der Form Fig. 2.

Fig. 2.

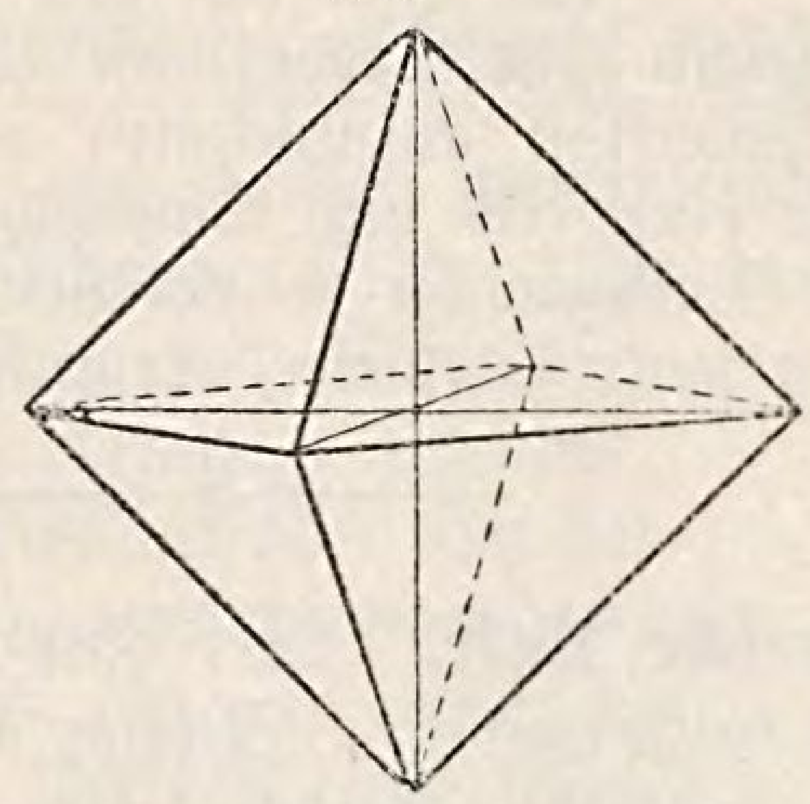
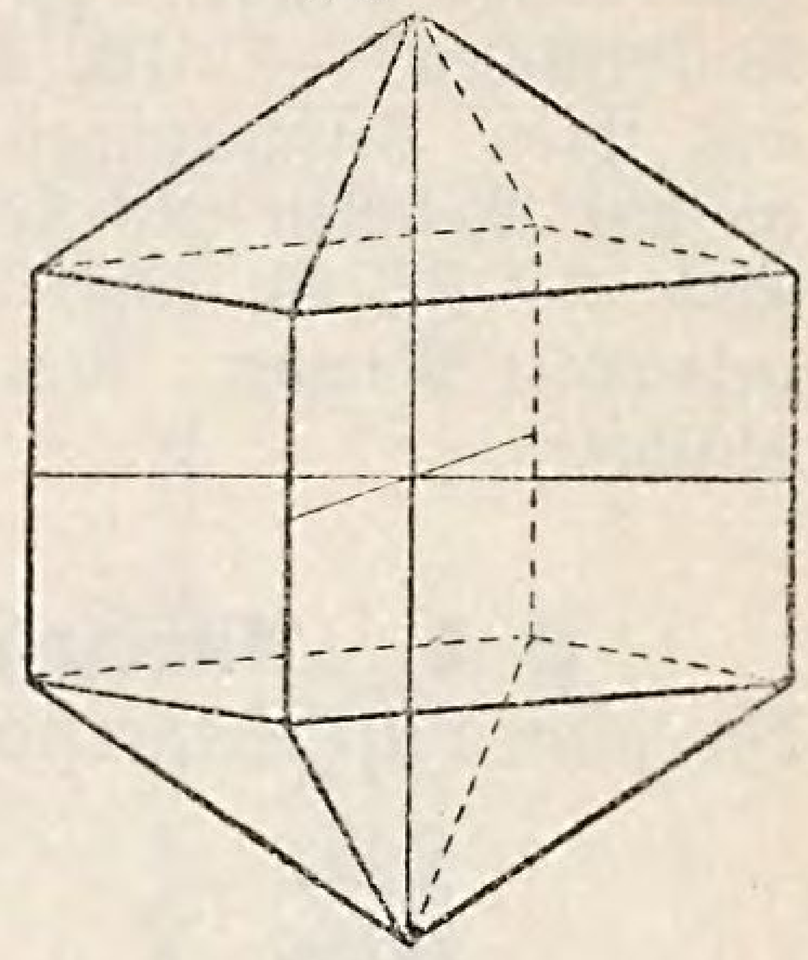


Fig. 3.



Um aus den Metalloxyden die Metalle zu gewinnen, bedient man sich (§ 1) der Kohle, welche mit dem Sauerstoff eine flüchtige Verbindung giebt (§ 1, Fr. 5). Diesen Prozeß nennt man Reduktion (Zurückführung). Die chemische Verwandtschaft oder Affinität*) der Kohle zum Sauerstoff ist in der Hitze größer als die des Metalles.

Die natürlichen Metalloxyde sind wichtig für die Gewinnung der in ihnen vorhandenen Metalle.

Um aus den Eisenoxyderzen das reine Eisen zu erhalten, bringt man sie nach gehöriger Zerkleinerung in den Hochofen. Oben trägt man in denselben abwechselnd Schichten von Kohle und von Erzen ein. Von unten her wird ein lebhaftes Feuer unterhalten, das durch Gebläse verstärkt wird. Das Eisen fließt unten ab. Damit es nicht wieder oxydiere, giebt man den Erzen Kalk, Sand und Thon als Zuschlag bei, welcher die das flüssige Metall umhüllende und schützende Schlacke bildet.

Die Oxyde der verschiedensten Metalle finden eine nützliche Anwendung zum Färben des Glases sowohl für die Zwecke des täglichen Lebens, als für die der Kunst (Glasmalerei). Hierzu sind alle anderen Farbstoffe unbrauchbar, da sie durch die Glut des schmelzenden Glases zerstört werden würden. So erhält z. B. das gewöhnliche Flaschenglas seine grüne Farbe vom Eisen, das Milchglas und die Glasur in Kochtöpfen u. dgl. vom Zinn; das Grau der Gläser in Schutzbrillen wird durch Nickel hervorgerufen; die blutroten und blaugrünen Farbentöne der Glasmalerei erhält man durch Kupfer u. s. w. Manche dieser Metallaschen dienen auch zu Anstrichfarben, andere in der Malerei nur zu diesem Zwecke, so z. B. auch das Eisenoxyd, ferner das Zinkweiß und die als Anstrichfarbe sehr bekannte Mennige (ein Bleioxyd) u. s. w.

---

**Übungsstoff.** **1.** Von welchen Metallen sind mehrere Oxyde angeführt? Welche? — **2.** Untersuche mit dem Magnet, ob Roteisenst. und Hammerschlag verschiedene Eisenoxyde sind! — **3.** Erhitzt man Roteisenst. mit dem Lötrohr, so wird er schwarz und magnetisch. Ergebnis? — **4.** Vgl. Magneteisenerz und Eisenhammerschl.! — **5.** Wie läßt sich im Zinnstein das Zinn nachweisen? (Zusatz von Soda befördert die Reduktion.) — **6.** Das Wesentlichste vom Hochofen. — **7.** Die abgebildete Kristallform des Magneteisens heißt Oktaeder**); diese ist zu beschreiben, zu zeichnen und aus Pappe anzufertigen! — **8.** Ebenso

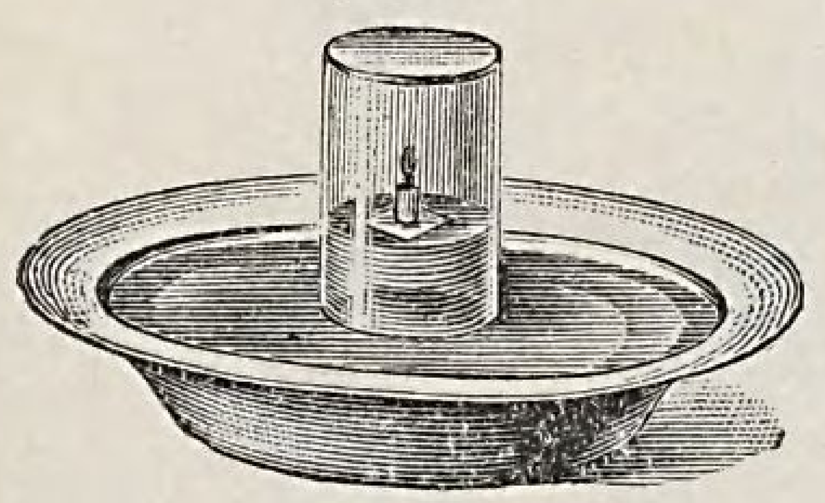
*) affīnis = verwandt.
**) octo = acht.

die Kristallform des Zinnerzes! — **9.** Wie würde man zu verfahren haben, um im Rotkupfererz das Metall nachzuweisen? — **10.** Wie mag sich der hohe Kohlenstoffgehalt des Roheisens erklären? (§ 2 Fr. 2.) — **11.** Aus welcher praktischen Anwendung der Metalloxyde geht hervor, daß der in denselben enthaltene Sauerstoff durch Hitze allein sich nicht vom Metall trennen läßt? — **12.** Vgl. mit den erwähnten Metallfarbstoffen etwa die Anilinfarben! — **13.** Woraus geht hervor, daß Kohle nicht nur aus Luft, sondern auch aus ihren Verbindungen Sauerstoff aufzunehmen vermag? — **14.** Die Verwandtschaft zwischen Metallen und Kohle einerseits und Sauerstoff andrerseits in der Hitze und in der Kälte. — **15.** An einer im Gleichgewicht befindlichen Wage hängt ein zuvor in Eisenpulver getauchter Magnet. Warum senkt sich dieser, wenn man das Eisen mit der Spiritusflamme berührt?

---

**§ 4. Atmosphärische Luft.** Wir sind zu dem Ergebnis gelangt, daß in der atm. Luft Sauerstoff enthalten ist. Dieser befähigt die Luft, die Verbrennung und die Atmung zu unterhalten. Ferner wissen wir, daß sich in der atm. Luft noch ein zweites Gas mit anderen Eigenschaften befinden muß. Wir stülpen über ein auf Wasser schwimmendes Licht eine Glasglocke, so daß ein Luftraum abgeschlossen wird (Fig. 4). Das Licht verlischt bald, und das Wasser steigt. Offenbar ist der Sauerstoff verzehrt worden. Es erhellt, daß das andere Gas in viel größerer Menge als Sauerstoff vorhanden und nicht imstande ist, die Verbrennung zu unterhalten. Sein Name ist Stickstoff; es ist farb- und geruchlos und etwas leichter als Luft.

Fig. 4.



Die atm. Luft besteht zu $\frac{1}{5}$ ihres Raumes aus Sauerstoff und zu $\frac{4}{5}$ aus Stickstoff. Dieser ist ein Element.

Das Verhältnis, in welchem Sauerst. und Stickst. in der atm. Luft vorkommen, ist überall auf der Erde dasselbe. Die von Wasser absorbierte Luft jedoch enthält über $\frac{1}{3}$ Raumteil Sauerst. In der Nähe der Erdoberfläche enthält die Luft namentlich noch Wasserdampf, die Produkte der Atmungs-, Verbrennungs- und Verwesungsvorgänge, Staub, Bakterien. In der Umgebung einer thätigen Elektrisiermaschine oder nach einem Gewitter hat die Luft einen eigentümlichen Geruch. Eine Ursache desselben ist die Umwandlung von etwas Sauerstoff in Ozon [ozein = riechen], welcher luftreinigend wirkt.

---

**Übungsstoff. 1.** Warum wird durch verstärkte Luftzufuhr die Verbrennung gefördert und umgekehrt? Beispiele! — **2.** Wie hat man sich zu verhalten, wenn Kleidungsstücke am Körper in Brand geraten? Grund! — **3.** Die ausgeatmete Luft enthält ebensoviel Stickstoff als die eingeatmete. Schluß? — **4.** Name und Bedeutung des Stickstoffs. — **5.** Wesentl. u. zufäll. Bestandt. der Luft. — **6.** Warum ist die Luft keine chemische Verbindung? — **7.** Bedeutung des Ozons. — **8.** Welcher Unterschied tritt bei der Verbrennung eines K. hervor, wenn man ihn in Sauerstoff und wenn man ihn in atm. Luft verbrennt? — **9.** Wodurch wird a. bei der Lampe, b. beim Ofen der Zutritt der Luft befördert? Erkl.! — **10.** Durch welche Eigenschaft steht der andere Bestandteil der Luft im Gegensatz zum Sauerstoff, und woraus geht dies hervor? — **11.** Bei welcher Erscheinung zeigt es sich deutlich, daß die Luft als ein durch Stickstoff verdünnter Sauerstoff angesehen werden kann? — **12.** Wie ist es zu erklären, daß die im Wasser gelöste Luft mehr Sauerstoff enthält als die der freien Atm.?

---

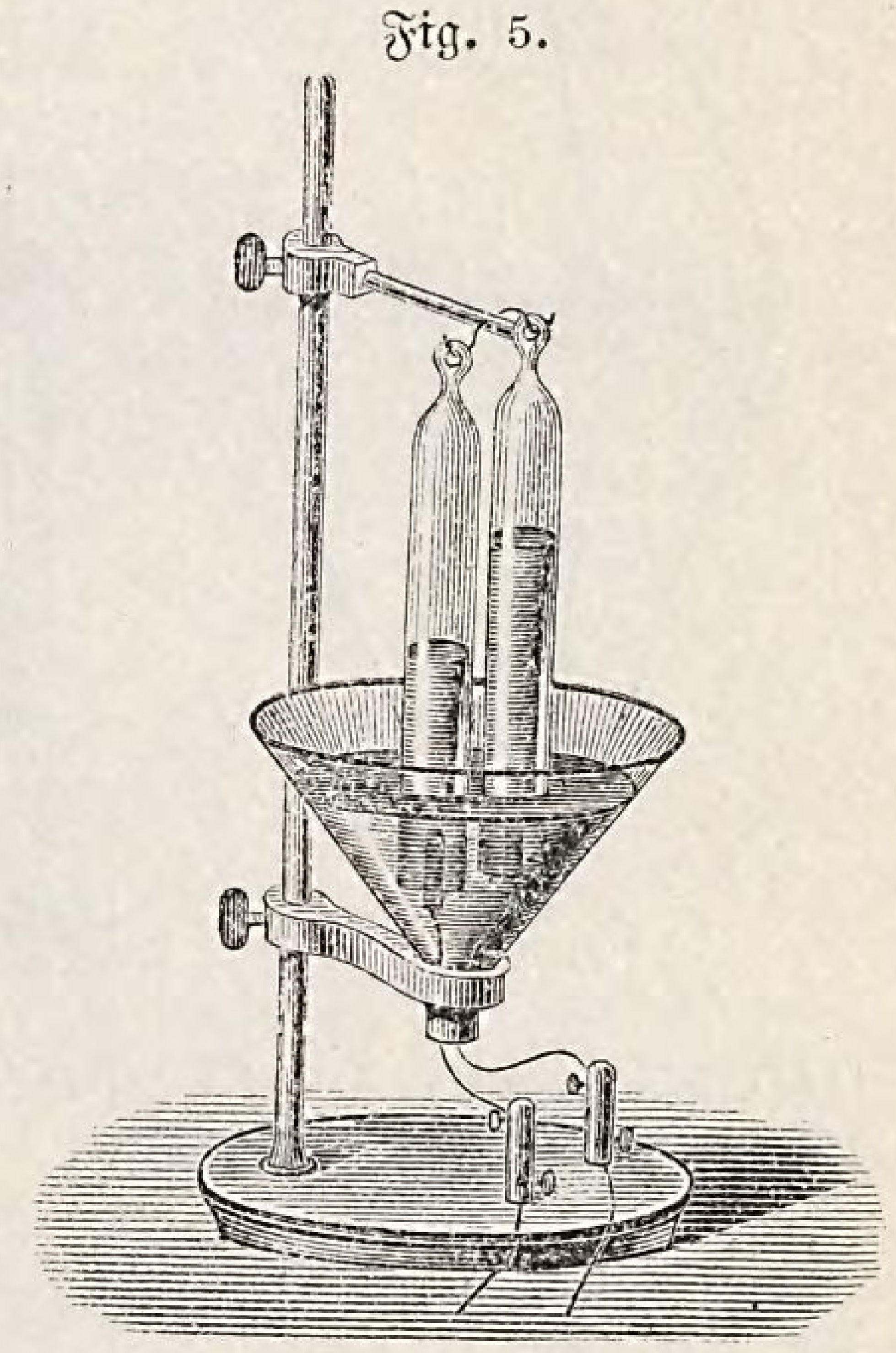
**§ 5. Wasser.** Leitet man den galvanischen Strom durch Wasser (dem etwas Schwefelsäure zugesetzt ist), so entwickeln sich an beiden Drahtenden Gasbläschen. Über den Zinkpol stülpe man ein kleines Probierglas. Führt man dieses — die Mündung nach unten — nach einiger Zeit an eine Flamme, so

erfolgt ein Knall. Das erhaltene Gas bildet also mit atm. Luft ein explosibles Gemenge; es heißt Wasserstoff. Weiter fange man beide Gase unter Wasser auf. Man findet mit einem glimmenden Spane, daß der andere Bestandteil des Wassers Sauerstoff ist (Fig. 5).

Wasser ist eine chemische Verbindung; es besteht aus Wasserstoff und Sauerstoff.

Das Wasser gehört zu den am meisten verbreiteten Naturkörpern (Meere, Seen, Flüsse, Wolken, Regen, Schnee, Eis). In der Regel enthält es Beimischungen, welche dem Boden oder der Luft entstammen (Salzw., Bitterw., Säuerlinge, Stahlw., hartes W.). (Reines Wasser ist geschmacklos.) Es besitzt nämlich in hohem Grade die Eigenschaft, von denjenigen Körpern, mit welchen es längere Zeit in Berührung ist, Teile aufzulösen. Feste Stoffe lösen sich leichter in heißem, luftförmige in kaltem W. Daher erlangt dasselbe im Haushalt der Natur und des Menschen eine hervorragende Bedeutung als Lösungsmittel (von Nährstoffen, Heil-, Reinigungsmitteln, Luft). Reines W. erhält man durch Destillation.

Fig. 5.



Alle Körper bestehen aus kleinsten Teilchen, den Molekeln.*) So ist Wasser aus Wassermolekeln, Zinnerz aus Zinnoxydmol. zusammengesetzt. Aus dem Behandelten folgt, daß jedes Molekel sich in einfachere Bestandteile auflösen läßt. Diese sind die Urteilchen oder Atome.**) Die Wassermolekeln bestehen daher aus Wasserstoff- und Sauerstoffatomen.

Mischt man Wasserstoff und Sauerstoff im Raumverhältnis 2 : 1, so explodiert das Gemenge beim Anzünden mit außerordentlicher Gewalt. Daraus erhellt das starke Vereinigungsbestreben beider Elemente. Man führt den Versuch zweckmäßig so aus, daß man das elektrolytisch gewonnene Gasgemisch in Seifenwasser leitet und den kleinblasigen Schaum vorsichtig mit einer Flamme berührt. Das bezeichnete Gasgemenge führt den Namen Knallgas.

**Übungsstoff.** **1.** Durch welche Naturkraft wird Eis in W. und W. in W.dampf verwandelt? — **2.** Durch welche Naturkraft läßt sich W. zerlegen? — **3.** In welchen Raummengen scheiden sich dessen Elemente ab (Fig. 5)? — **4.** Worin stimmen sie überein, und wie unterscheiden sie sich? — **5.** Wesentliche und zufällige Eigensch. des W. — **6.** Welche von diesen ist für die Wassergeschöpfe sehr wichtig? — **7.** Stülpt man das Glas längere Zeit über den Zinkpol, so wird beim Anzünden der Knall schwächer und dumpfer. Auch bemerkt man im Rohre eine matte Flamme. Erkl.! — **8.** Hält man die Mündung eines mit Wasserstoff gefüllten Probierglases nach oben, so ist das Gas in kürzester Zeit verschwunden. Nachweis! Vgl. mit Sauerstoff! — **9.** In frischem Wasser steigen zahlreiche kleine Luftbläschen auf, wenn dasselbe erwärmt wird. Bei schon gekochtem W. tritt diese Erscheinung nicht ein. Grund? — **10.** Wie erzeugt man elektrolytisches Knallgas am bequemsten? — **11.** Beschreibe einen einfachen Destillationsapparat! Welches sind die physikalischen Vorgänge beim Destillieren? — **12.** Untersuche verschiedene Stoffe auf ihre Löslichkeit in heißem und kaltem Wasser! — **13.** Wie ist es möglich, daß Sauerstoff — ein Element — sich umwandelt? (§ 4.) — **14.** In Kochtöpfen entsteht durch längeres Kochen von hartem W. eine hellgraue Kruste (Kesselstein), nicht aber durch Kochen von weichem W. Was folgt hieraus hinsichtlich der Zusammensetzung von hartem und weichem W. vor und nach dem Kochen desselben? — **15.** Woher der Name Kesselstein?

*) molecula = kleine Masse.
**) ātomos = unteilbar.

**§ 6. Schwefel.** Wie man am Schwefelholz oder Schwefelfaden sieht, brennt der gelbe Schwefel an der Luft mit matter, dunkelblauer Flamme, wobei er stechend riechende Nebel verbreitet. In reinem Sauerstoff (Fig. 6) ist seine Flamme glänzend himmelblau. Das Innere des Cylinders hat dann den erwähnten erstickenden Geruch angenommen. Schüttelt man das Gefäß mit kaltem Wasser aus, so zeigt dieses säuerlichen Geschmack: das entstandene Gas ist schweflige Säure. Ein brennender Span erlischt in derselben; blaues Lackmuspapier färbt sich rot. (Lackmus ist ein blauer Flechtenfarbstoff.) Die schweflige Säure hat die Eigenschaft, z. B. Blumenfarbstoffe (Veilchen, Rosen) zu zerstören und dient deshalb als Bleichmittel.

Fig. 7.

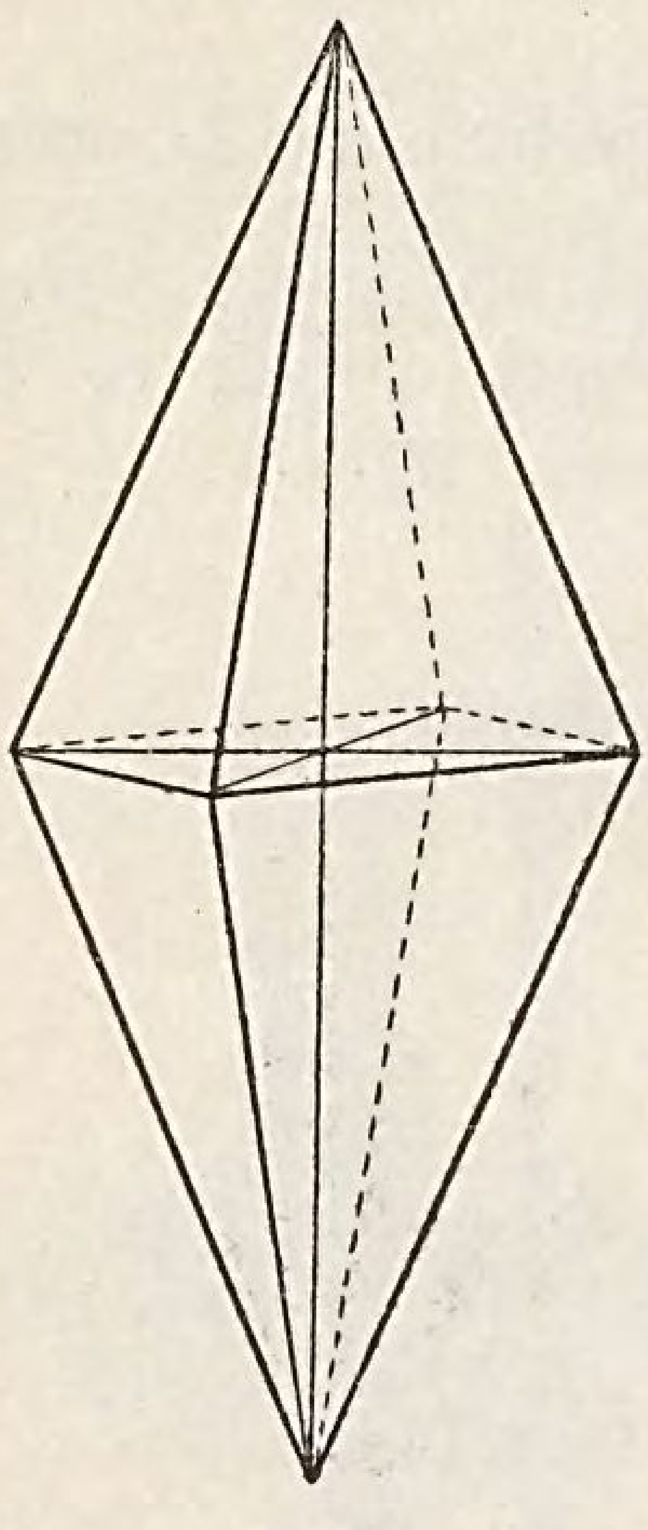
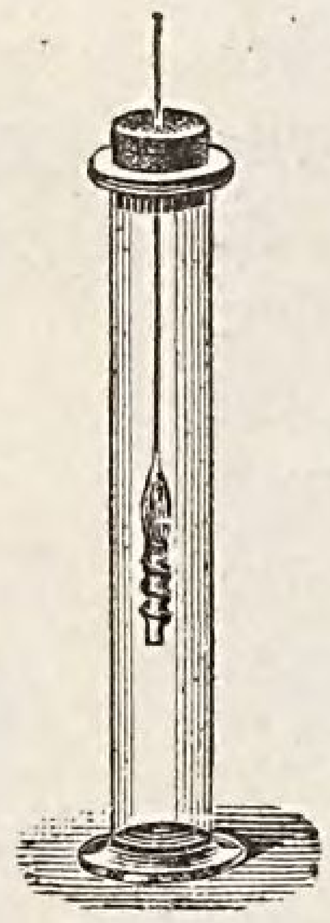


Fig. 6.



Schwefel ist ein Element. Schweflige Säure ist eine chemische Verbindung, welche aus Schwefel und Sauerstoff besteht.

Der Schwefel findet sich in der Natur in vulkanischen Gebieten; der Hauptfundort ist Sicilien. Meist ist er durch erdige Bestandteile verunreinigt; Fig. 7 stellt eine seiner Kristallformen dar. Der Schwefel wird vielfach benutzt, z. B. zur Bereitung des Schießpulvers, der Schwefelhölzer und -fäden, der Schwefelsäure, zur Herstellung von Gummi (Vulkanisieren), zum Einpudern der Weinstöcke (gegen den Traubenpilz). Die schweflige Säure dient als Bleichmittel für Seide, Wolle, Strohwaren, Schwämme, zur Entfernung von Flecken, zum Ausschwefeln von Weinfässern (indem man Schwefelfäden in denselben verbrennt).

---

**Übungsstoff.** **1.** Vgl. die bisher behandelten Gase! — **2.** Wie stellt man Lackmuspapier her? — **3.** Wofür ist Lackmus ein Erkennungsmittel? — **4.** Man prüfe Essig, Zitronensaft u. a. mit Lackmuspapier! Ergebnis? — **5.** Prüft man das durch Verbrennung von Kohle in Sauerstoff erhaltene Gas oder dessen wässrige Lösung mit Lackmusp., so rötet sich dieses. Erkl.? — **6.** Wie kann man demnach dieses Gas nennen? — **7.** Wieso ist jetzt der Name „Sauerstoff“ oder „Oxygenium“ verständlich? — **8.** Leite aus dem Anfang des § ab, daß die atm. Luft Sauerst. enthält! — **9.** Was sind Schwefelblumen? Was ist Stangenschwefel? — **10.** Vgl. Fig. 7 mit Fig. 2! — **11.** Zeichne ein Schwefeloktaeder und fertige es aus Pappe an! — **12.** Weise nach, daß beim Verbrennen eines Körpers in Sauerstoff dieselbe Verbindung entsteht, wie beim Verbr. des K. in atm. Luft! Welcher Schluß erhält hierdurch Gewißheit?

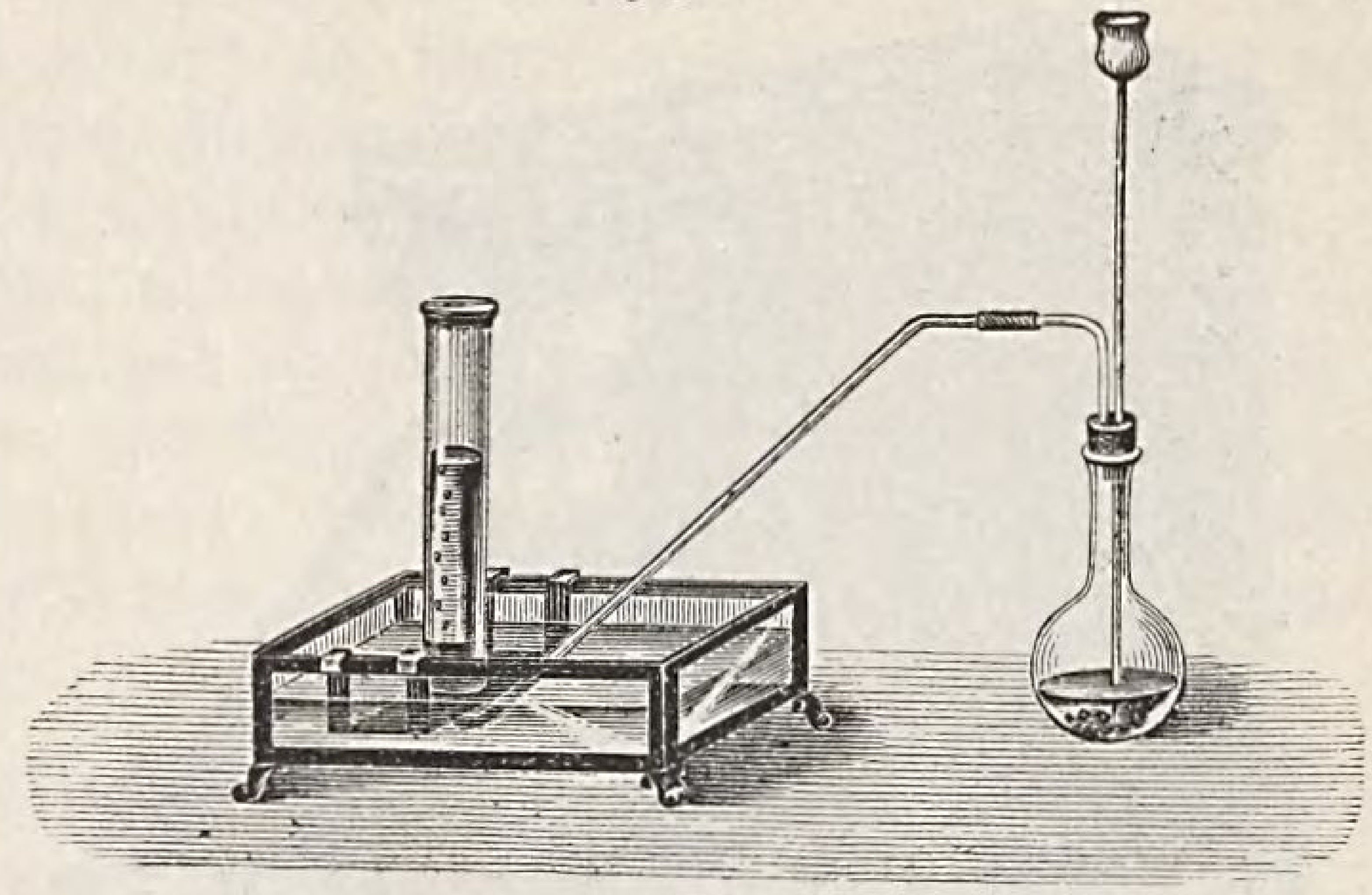
---

**§ 7. Schwefelsäure.** Die Schwefelsäure, welche mit Wasser verdünnt als Kupferwasser zum Reinigen von Metall dient, ist in reinem Zustande farb- und geruchlos, dickflüssig und schwer (spez. Gew. 1,8). Sie hat eine stark zerstörende Wirkung und rötet Lackmuspapier sehr kräftig. Wir gießen sie auf Kupferspäne und erhitzen. Das Rauchen, der stechende Geruch und die bleichende Wirkung zeigen, daß schweflige Säure entweicht. Der mit Wasser versetzte Rückstand ist blau, was jedenfalls vom Kupfer herrührt. Die (verdünnte) Schwefelsäure entwickelt mit Zink oder Eisen reichlich Wasserstoff. Zweckmäßig verwendet man dabei eine Gasentwickelungsflasche (Fig. 8, folg. S.). Das Trichterrohr dient zum Nachgießen der Säure und zugleich als Sicherheitsrohr, das andere zum Fortleiten des Gases. Außer dem Angegebenen enthält die Schwefelsäure noch Sauerstoff (Fr. 4).

Schwefelsäure besteht aus schwefliger Säure, Wasserstoff und Sauerstoff.

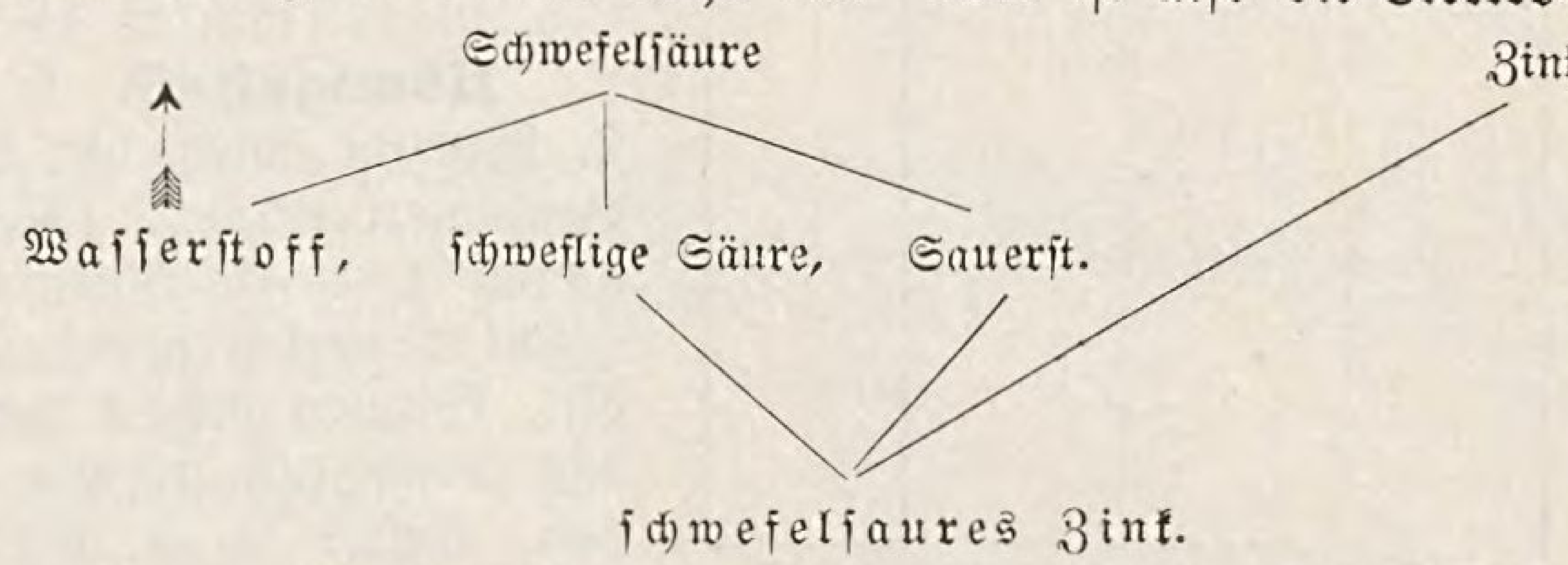
Beim Mischen von konzentrierter (unverdünnter) Schwefelsäure mit Wasser tritt starke Erwärmung ein, indem jene begierig Wasser aufnimmt. (Man darf aber nicht das Wasser in die Säure gießen, weil diese sonst heftig umhergespritzt werden kann.) Die Schwefelsäure wird daher zum Trocknen (z. B. von Gasen) benutzt.

Fig. 8.



---

**Übungsstoff.** **1.** Warum ist beim Entwickeln von Wasserstoff große Vorsicht geboten? — **2.** Ein über die Ausströmungsöffnung gehaltenes Probierglas giebt an der Flamme zuerst einen scharfen, nach einiger Zeit einen schwachen Knall. Wann erst darf man anzünden? — **3.** Die anfangs kaum sichtbare, heiße Flamme des Wasserst. wird bald gelblich. Grund? — **4.** Läßt man Wasser, in welchem schweflige S. gelöst ist, längere Zeit an der Luft stehen, so verliert es seinen Geruch und wird stärker sauer. Erklärung? — **5.** Taucht man Holz, Zucker, Löschpapier in konz. Schwefels., so werden sie schwarz. Wie erkennt man hieraus, daß die organischen Stoffe aus Kohlenst., Wasserst. und Sauerst. bestehen? — **6.** Was läßt sich aus Schwefelsäure darstellen? — **7.** Das verschiedene Verhalten derselben gegen die Metalle. — **8.** Kupfer färbt die Flamme grün; dasselbe thut die erhaltene blaue Flüssigkeit. Schluß? — **9.** Stülpt man ein Gefäß über die Flamme von getrockn. Wasserstoff, so beschlägt es. Erkl.? — **10.** Auf reines W. wirkt der galv. Strom nicht ein. Wie ist also die Elektrolyse in § 5 zu erkl.? Wie kann die zers. Schwefels. die Elemente des W. ergeben? — **11.** Läßt man die Rückstände verdunsten, welche man bei der Einwirkung v. Schwefels. auf Kupfer, Eisen, Zink erhalten hat, so entstehen blaue, grüne oder weiße Krist.




Erkl.? — **12.** Erkläre beistehendes Schema! — **13.** Man stelle die Einwirkung von Kupfer auf konz. Schwefels. durch ein Schema dar! — **14.** W. ist die Schwefels. häufig (durch Staub z. B.) braun gefärbt? — **15.** Nenne Vitriole (schwefelsaure Metalle)!

---

## § 8. Kochsalz.

Erwärmt man eine Mischung von Kochsalz (Speisesalz), Schwefelsäure und braunem Sauerstoffblei, so entweicht ein schweres Gas von heftig angreifendem Geruch, welches Lackmus schnell bleicht und durch seine gelbgrüne Farbe bemerkenswert ist. Deshalb heißt es Chlor.*) Man sieht leicht, daß es aus dem Kochsalz stammen muß. Letzteres färbt die Flamme intensiv gelb. Wie das Kupfer sowohl als metallisches Element, als auch in Verbindung eine grüne Flammenfärbung zeigt, so ist im Kochsalz ein Metall mit gelber Flammenfarbe enthalten. Man nennt es Natrium.

Kochsalz besteht aus Chlor und Natrium, ist also ein Chlormetall (Chlornatrium).

Man tauche einen angefeuchteten Streifen bunten Zeuges und ein Stück unechten Blattgoldes (Kupfer) in Chlor ein. Das Zeug wird entfärbt und das Metall verbrennt. Ebenso wirkt das Chlor zerstörend auf Riech- und Ansteckungsstoffe. Es ist giftig und greift die Atmungsorgane heftig an. Von Wasser wird es leicht gelöst (Chlorwasser).

---

*) chloros = gelbgrün.

Das sehr verbreitete Steinsalz findet sich im Meerwasser (durchschn. 3 %), in Quellwassern und in großen Lagern, z. B. in Staßfurt bei Magdeburg in einer Mächtigkeit von 380 m, in Sperenberg bei Berlin in einer solchen von 1400 m. In Staßfurt ist das Salzlager mit großen Massen von Kalium- (§ 9) und Magnesiumsalzen bedeckt, welche zur Gewinnung des Steinsalzes erst abgeräumt werden müssen und daher als Abraumsalze bezeichnet werden. Dieselben sind für die Landwirtschaft wichtig. Das reine Steins. kann, nachdem es gewaschen ist, ohne weiteres benutzt werden. Das unreine Salz wird in W. aufgelöst, die Sole auf Gradierwerken (Fig. 9) durch Herabtröpfeln an hohen Dornenwänden konzentriert und dann eingedampft. Es kristallisiert in Würfeln (Fig. 10). In 100 Gewichtsteilen kalten Wassers lösen sich 36 T. Kochsalz, in heißem W. nur wenig mehr.

Fig. 9.

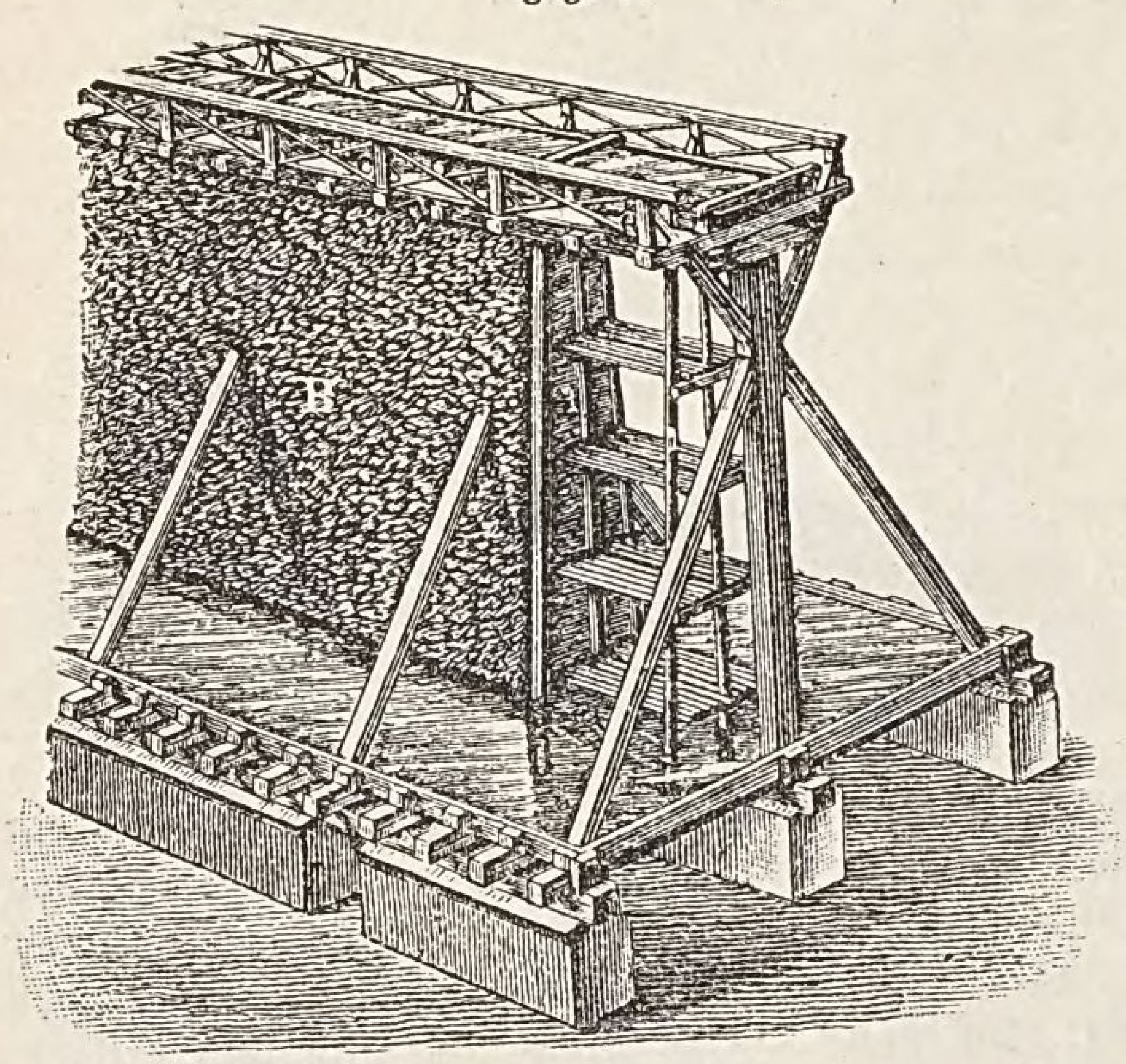
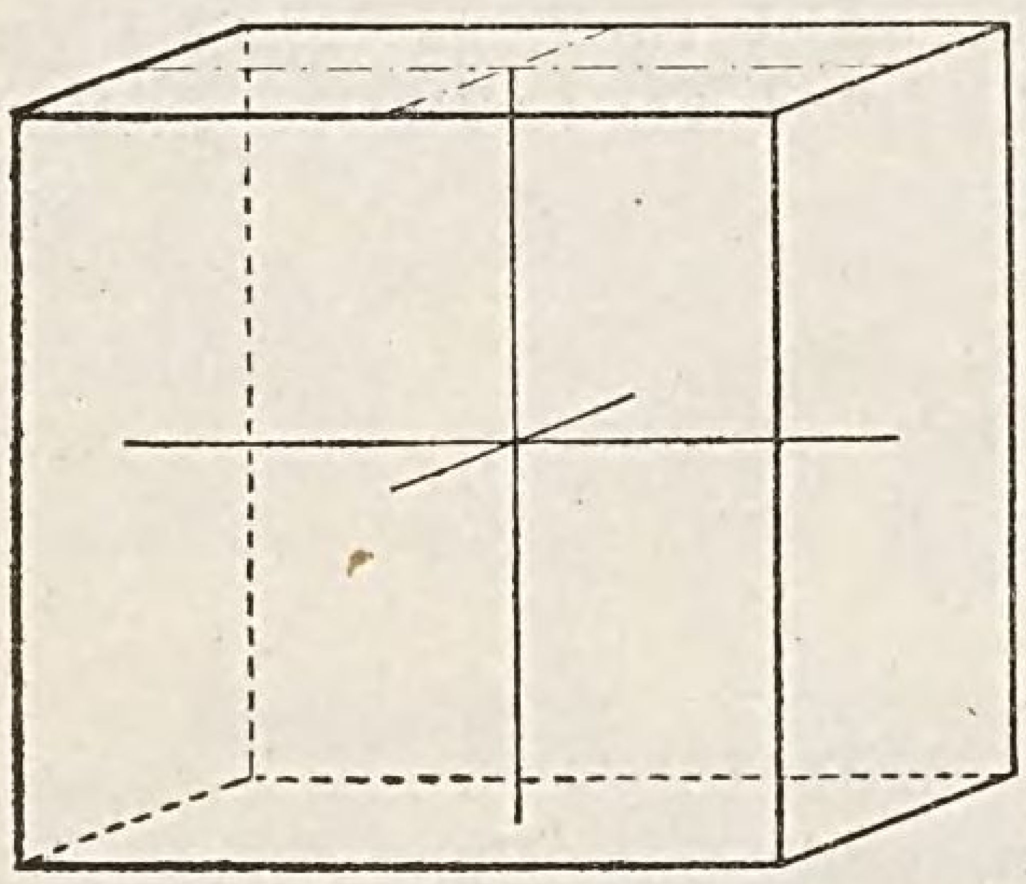


Fig. 10.



**Übungsstoff.** 1. Wozu wird Kochsalz benutzt? — 2. Warum wird der Salzgehalt der Sole durch das Gradieren erhöht? Was bedeutet der Ausdruck „Gradieren“? — 3. Warum werden Gradierwerke senkrecht gegen die vorherrschende Windrichtung gebaut? — 4. Bei östl. Winden erhält man in unseren Gegenden durch das Gradieren stärkere Sole als bei westlichen Winden. Erkl.? — 5. Warum kann im Winter im allgemeinen nur mit geringerem Erfolge gradiert werden? — 6. Warum ist das Gradieren bei nebligem Wetter und bei Regen nutzlos? — 7. Warum müssen die Gradierwerke möglichst frei stehen? — 8. Kochsalz ist viel leichter in Wasser löslich als Gips. Wie läßt sich dies aus der an den Dornen der Gradierwerke eintretenden Gipsbildung schließen? — 9. Die Größe der beim Salzsieden entstehenden Kochsalzkristalle ist wesentlich abhängig von der Schnelligkeit und Stärke, mit welcher gefeuert wird (Entstehung von grobem und feinem Salz); inwief. u. w.? — 10. Bei trockenem Wetter erscheint der Boden nahe an Gradierwerken, oberflächlich betrachtet, wie mit Mehl bestreut. Erkl.? — 11. In warmen Ländern läßt man Meerwasser in flache Becken fließen, um Salz zu gewinnen (Salzgärten). Erkl.? — 12. Das Meereis ist salzfrei. Wie kann man daher in Polargegenden Sole konzentrieren? — 13. Laß Salzwasser abdampfen und beobachte die Bildung und Gestalt der Kristalle! — 14. Was sind Ansteckungsstoffe? Warum ist ihre Unschädlichmachung sehr wichtig? — 15. In welcher Weise wird Chlor als Desinfektionsmittel angewendet? — 16. Wie ändert sich der Begriff „Verbrennung“ nach § 8? — 17. Wieviel Liter W. sind nötig, um 1 Pfd. Kochsalz zu lösen? — 18. Bestimme die Lage der innerhalb des Würfels (Fig. 10) gezogenen Linien (Achsen) (vgl. Fig. 2)! — 19. Vgl. Sauerst. und Chlor hinsichtlich a. ihres Aussehens, b. ihrer Wirkung auf Metalle, c. ihrer Wirkung auf den menschl. K.! — 20. Welches Element giebt in Verbindung mit Sauerstoff eine für alle Geschöpfe unentbehrliche Flüssigkeit, in Verb. mit Chlor ein Gas, das von jener Flgk. begierig aufgesogen wird? — 21. Ist es richtig zu sagen: das Chlor zerstört das Kupfer (Blattgold)?

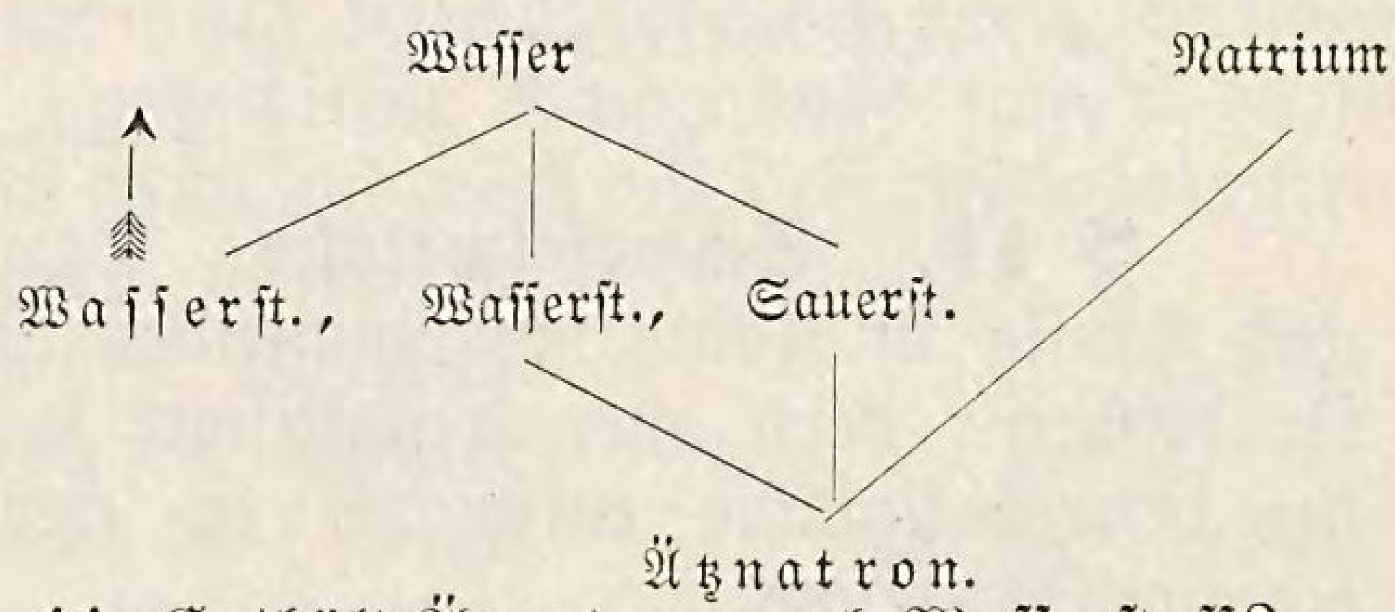
**§ 9. Natrium.** Dieses Metall ist in mehrfacher Hinsicht merkwürdig. Nicht nur, daß sein Silberglanz schon nach einigen Sekunden verschwindet, es ist auch weich wie Wachs und schwimmt sogar auf dem Wasser (spez. Gew. 0,97). Auf diesem fährt es, sich zur Kugel abrundend, schnell umher. Wenn man seine Bewegung — etwa durch untergelegtes Fließpapier — hemmt, so brennt es mit gelber Flamme. Um diese auffälligen Erscheinungen zu erklären, stülpe man ein Probierglas über das auf dem Wasser rotierende, nicht brennende Natrium und weise Wasserstoff nach. Das Natrium hat noch stärkere Affinität zum Sauerstoff als der Wasserstoff und zersetzt daher das Wasser. Letzteres zeigt dann laugenhaften Geschmack und ist Natronlauge, welche rotes Lackmuspapier bläut. Dampft man die Lauge ein, so erhält man das feste Ätznatron, so genannt, weil es organische Gewebe (z. B. Haut) angreift.

Das Natrium ist ein Leichtmetall von großer chemischer Verwandtschaft. Mit Wasser bildet es Natronlauge und Ätznatron.

Der nächste Verwandte des Kochsalzes ist der Sylvin. Er enthält zwar auch Chlor, aber — wie die hellviolette Flammenfarbe zeigt — ein anderes Metall, nämlich das Kalium. Dasselbe ist dem Natrium sehr ähnlich und besitzt noch stärkere Affinität, indem es sich auf Wasser sofort entzündet. — Das chlorsaure Kalium enthält außer den Bestandteilen des Chlorkaliums noch reichlich Sauerstoff, weshalb es zu der Zündmasse der schwedischen Streichhölzer und zu Feuerwerkssätzen benutzt wird. Mit Sand oder Braunstein (§ 10) gemischt, dient es zur Entwickelung größerer Sauerstoffmengen.

---

**Übungsstoff.** 1. Warum wird der Unkundige das Natrium nicht für ein Metall halten? — 2. Man zeige durch vergleichende Betrachtung von Metallen, daß das Verhalten des Natriums nur auf den ersten Blick befremdend erscheint. — 3. Man weise das Natrium in der Natronlauge nach! — 4. Warum fühlt sich diese schlüpfrig an? — 5. Welche Stoffe schmecken laugenhaft? — 6. Untersuche Seifenwasser mit Lackmus und durch die Flammenfarbe! Ergebnis? — 7. Lackmus als Erkennungsmittel. — 8. W. werden Natrium und Kalium unter Steinöl aufbewahrt? — 9. Warum darf man sie nicht mit feuchten Fingern anfassen? — 10. Was ist Kalilauge? — 11. Enthält Ätznatron auch Wasserstoff? — 12. Erkläre nebenst. Schema! — 13. Wie ist im Sylvin das Chlor nachzuweisen?




---

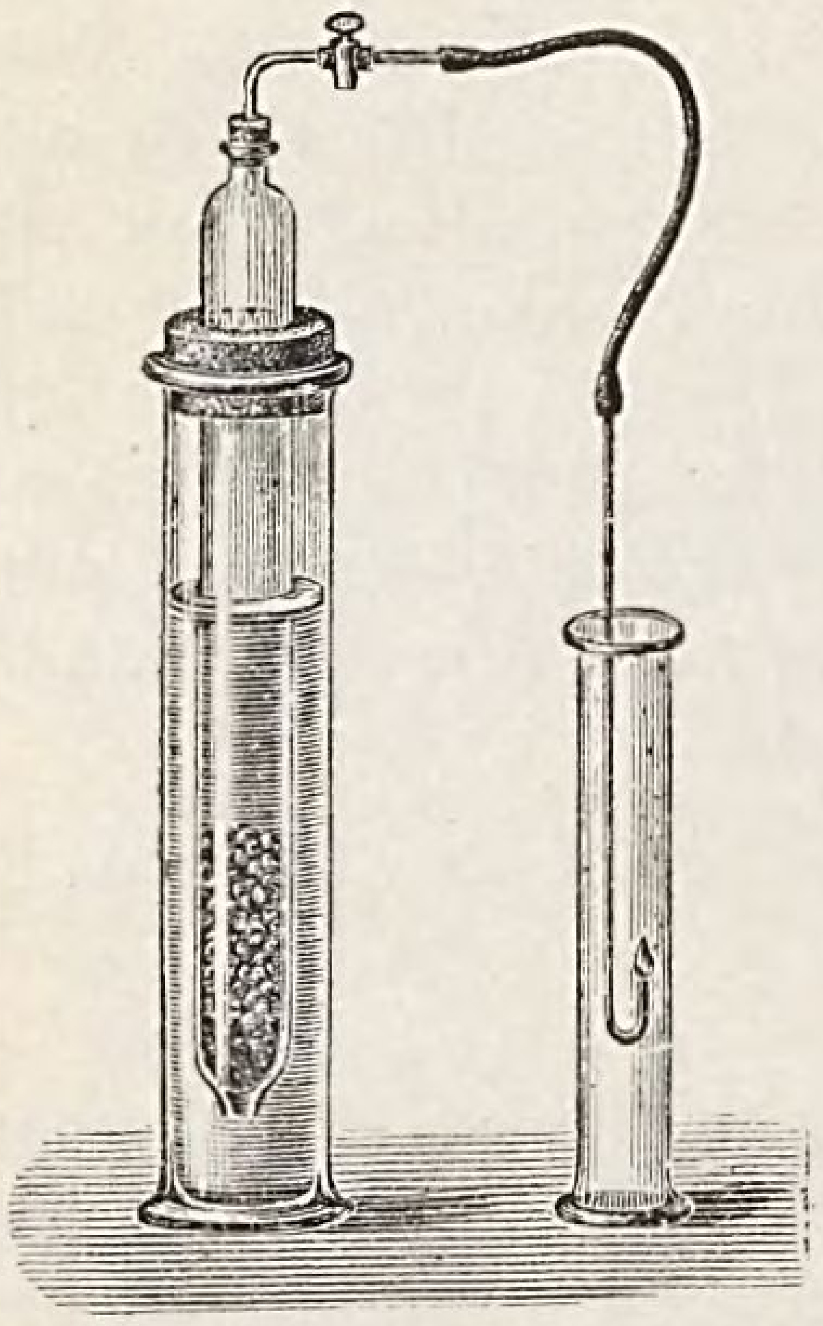
**§ 10. Salzsäure.** Mit diesem Namen bezeichnet man die viel gebrauchte wässerige Lösung eines Gases, welches man auf folgende Weise gewinnt. Übergießt man Kochsalz mit Schwefelsäure, so entweicht ein stechend riechendes, rauchendes Gas, welches sich leicht in Wasser löst. Es ist, wie das blaue Lackmuspapier ausweist, eine starke Säure. Weil sie aus dem Kochsalz stammt, heißt sie Salzsäure. Da sie mit Zink Wasserstoff und mit braunem Bleioxyd Chlor giebt, so besteht sie aus Chlor und Wasserstoff (Chlorwasserstoff).

Salzsäuregas besteht aus Wasserstoff und Chlor.

Bringt man zu Natronlauge nach und nach Salzsäure, so hört die Bläuung des Lackmuspapieres schließlich auf. Die Flüssigkeit reagiert dann nicht mehr, weder blauend, noch rötend. Lauge und Säure heben sich also in ihrer Wirkung auf oder neutralisieren sich. Beim Eindampfen erscheinen Würfelkristalle, die nur Kochsalz sein können. Mithin ist das Salz das Neutralisationsprodukt von Säure und Lauge. Weil letztere insofern die Grundlage des Salzes bildet, als sie das Metall enthält, nennt man sie auch Basis.

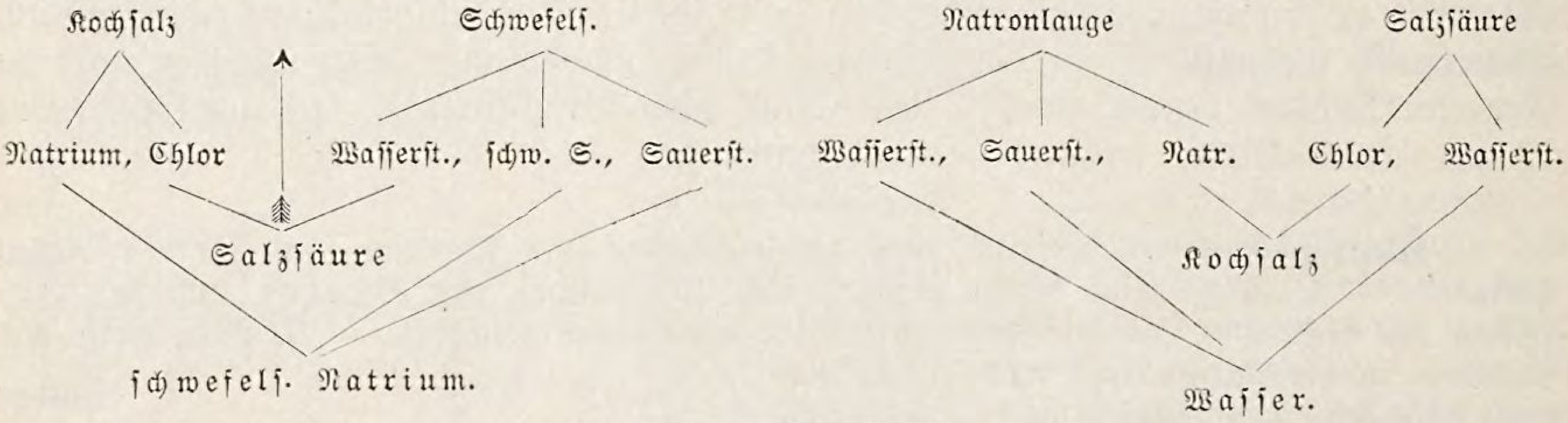
Kochsalz entsteht auch, wenn Natrium auf Salzsäure wirkt, wobei Wasserstoff entweicht. Weil Kupfervitriol und Zinkvitriol ebenfalls beim Zusammenwirken von Metall und Säure gebildet werden (§ 7), so sind sie gleicherweise als Salze anzusprechen.

Fig. 11.



---

**Übungsstoff.** 1. Salzsäure kommt im Magensaft vor; welche Aufgabe wird sie haben? — 2. Welche der erwähnten Säuren ist die stärkste? Warum? — 3. Ist es richtig zu sagen, die Schwefels. treibt die Salzs. aus dem Kochsalz aus? — 4. Kaltes W. nimmt gegen 500 Raumt. Chlorwasserstoff auf. Wie stellt man daher letzteren am einfachsten dar? — 5. Salzsäure als Reinigungsmittel. — 6. Vgl. das Auflösen von Zucker in Wasser und von Eisen in Salzs.! — 7. Verschied. Methoden zur Wasserstoffdarstellung. — 8. Billiger (als die § 8 angeg.) ist die Chlorbereitung aus Salzs. und Braunstein. Was folgt daraus für dessen Zusammens.? — 9. Das Braunsteinmetall heißt Mangan. Welche Verbindung dess. ist bekannt? Zus. ders.? — 10. Wird Wasserst. in Chlor brennen? (Fig. 11.) — 11. Auf welche verschied. Weise kann Kochsalz entstehen? — 12. Stelle die Chlorentw. aus Braunstein durch ein Schema dar! — 13. Erkl. die nachstehenden Schemas:



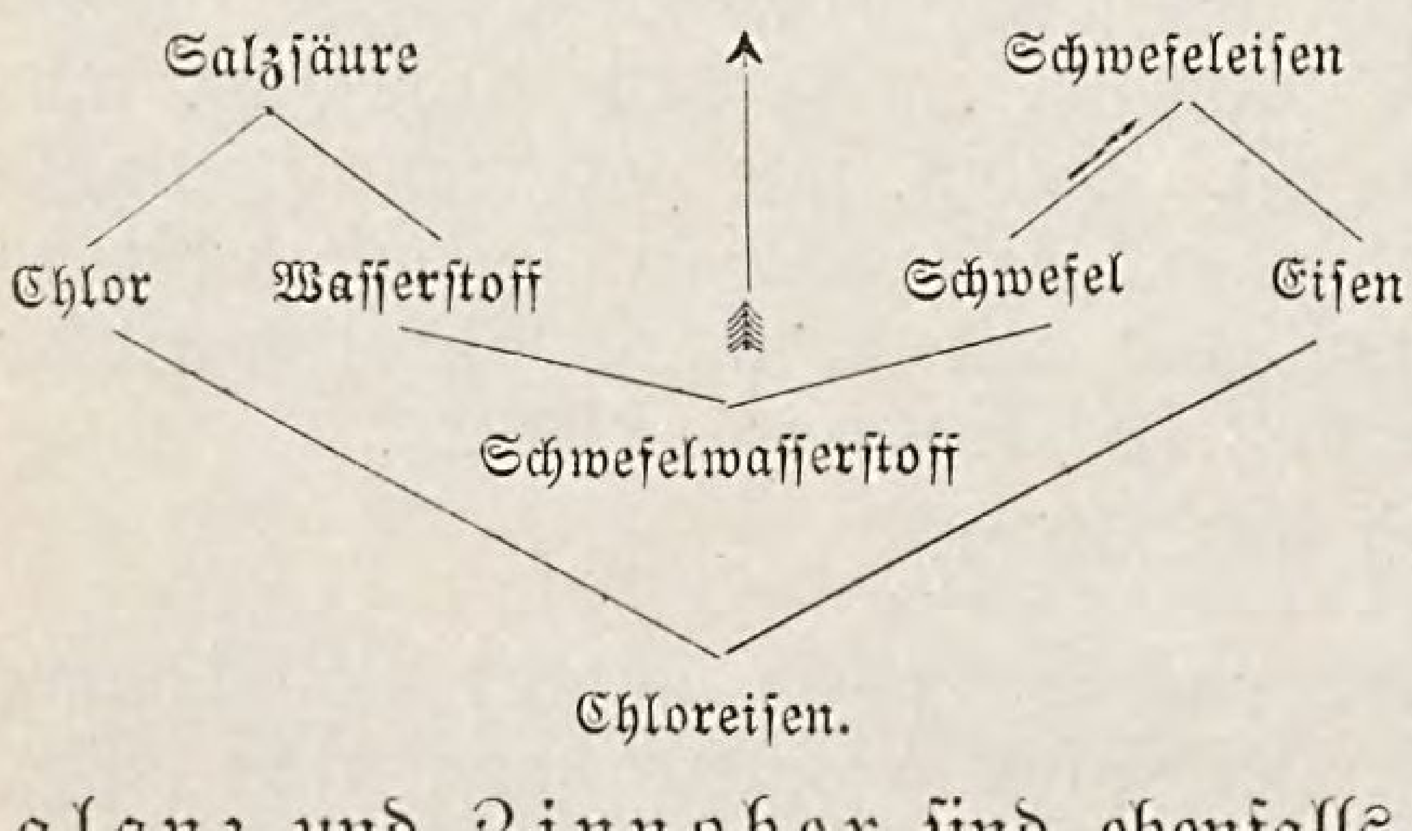

---

## § 11. Schwefelmetalle.

**§ 11. Schwefelmetalle.** Der Schwefelkies, ein allgemein verbreitetes und häufig in Kohle vorkommendes Mineral, ist gewöhnlich messinggelb gefärbt. Er erscheint derb oder kristallisiert in Form von Würfeln und Oktaedern. In der Lötrohrflamme entwickelt er schweflige Säure und hinterläßt eine schwarze, magnetische Kugel.

Schwefelkies besteht aus Eisen und Schwefel.

Mengt man in einem Probierglase Schwefelblumen mit dem doppelten Gewicht Eisenpulver und erhitzt an einer Stelle, so gerät die ganze Masse von selbst in starkes Glühen. Sie ist dann fest und bronzefarben: Schwefeleisen. Fügt man zu diesem Salzsäure oder Schwefelsäure in verdünntem Zustande, so entweicht ein farbloses, brennbares Gas, welches lebhaft an den üblen Geruch fauler Eier erinnert: Schwefelwasserstoff.




Bleiglanz, Kupferkies, Kupferglanz, Zinkblende, Silberglanz und Zinnober sind ebenfalls wichtige Schwefelmetalle (Sulfide), welche zur Darstellung der betr. Metalle dienen. Bleiglanz ist bleigrau, metallglänzend, meist silberhaltig und kommt in Würfeln vor. Kupferkies ist messinggelb. Zinkblende sieht glänzend dunkelbraun aus. Kupferglanz und Silberglanz sind schwärzlich bleigrau. Zinnober (schön rot) ist Schwefelquecksilber.

Um aus den Sulfiden die Metalle zu gewinnen, werden sie geröstet, d. h. bei Luftzutritt erhitzt. Dabei entweicht schweflige Säure; die Metalle werden meist oxydiert. Das Quecksilber verdampft indes beim Erhitzen von Zinnober als Metall und wird in Kühlgängen verdichtet. Das beim Rösten von Zinkblende entstandene Zinkoxyd wird mit Kohle (in sog. Muffeln) reduziert. Bleiglanz wird mit dem beim Rösten gebildeten Bleioxyd unter Luftabschluß erhitzt, wobei reines Blei zurückbleibt. Ähnlich — wenn auch umständlicher — ist die Behandlung des Kupferkieses.

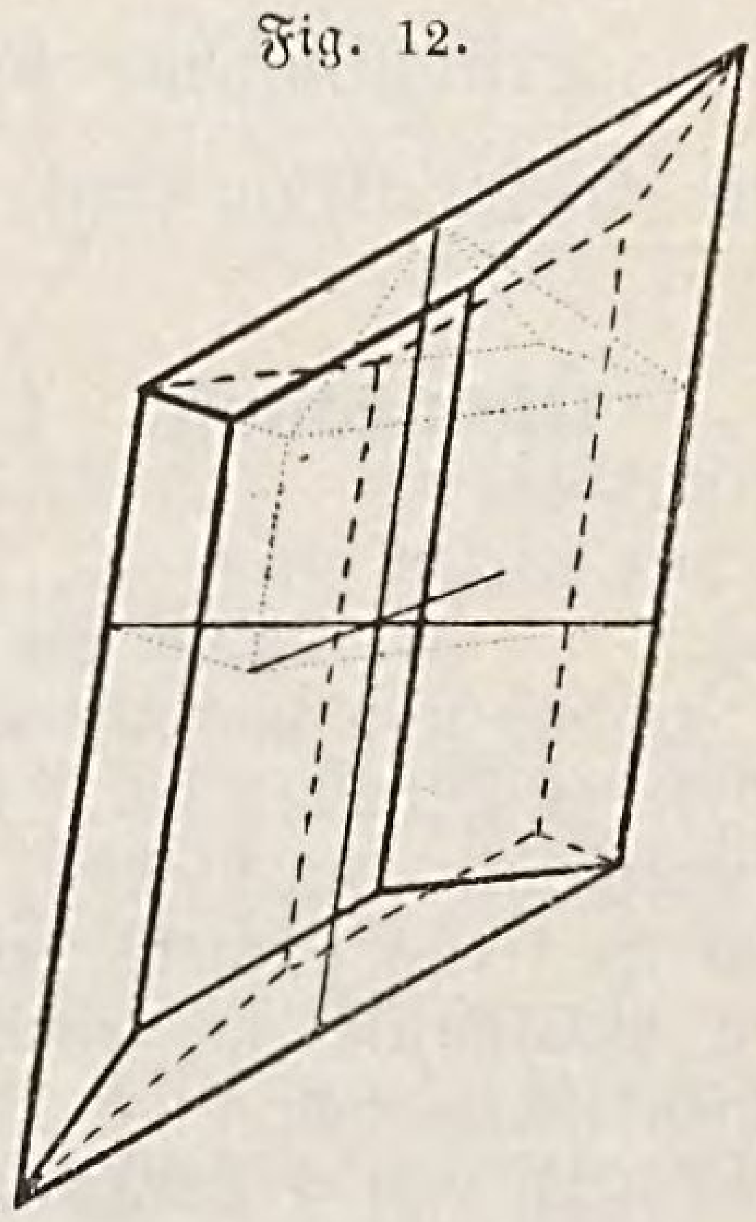
---

**Übungsstoff.** 1. Was verursacht den üblen Geruch fauler Eier? — 2. Welches Element enthalten daher die Eiweißstoffe? — 3. Warum wird ein silberner Löffel von Eiern leicht geschwärzt? — 4. Weise die Elemente des Schwefelkieses auf andere Weise nach! — 5. Auf Kohle erhitzt giebt Kupferkies eine magnetische Kugel und dann (mit Soda) ein rotes Metallkorn. Schluß? — 6. Warum kann letzteres nicht aus der Soda stammen? — 7. Wie verhält sich Bleiglanz auf Kohle? — 8. Zinkblende giebt nur schwierig ein Metallkorn, meist einen weiß. Beschlag. Erkl.? — 9. In dens. chem. Verbind. (Bleiglanz, Wasser, Kochsalz u. s. w.) sind die Elem. stets in dens. Gewichtsverhältnissen vorhanden. Im Kupferkies sind stets 34,6 % K., im Silberglanz stets 87 % S. zu finden. Welche Bedeutung hat diese Thatsache? Welches Gesetz gilt daher? — 10. Welches sind die chemischen Vorgänge beim Rösten von Sulfiden? — 11. Erkl. die Gewinnung des Quecksilbers aus Zinnober! Desgl. die von Blei aus Bleiglanz! — 12. Beim Rösten der betr. Schwefelmetalle bilden sich auch schwefelsaures Blei, Zink, Silber u. a. Erkl.? — 13. Wieviel kg Kupfer sind enthalten a. in 65 kg, b. in 340 kg, c. in 1 kg Kupferkies? — 14. Zur Gewinnung des Silbers wird silberhaltiges Blei an der Luft erhitzt und die entstandene gelbe Bleiglätte entfernt. Erkl.? — 15. Wie wäre nach Fr. 9 zu entscheiden, ob die Legierungen chem. Verbindungen sind?

---

**§ 12. Schwefelsaure Salze.** Das schwefelsaure Kupfer oder der Kupfervitriol (§ 7) ist ein blaues, schiefwinklig kristallisierendes Salz, welches in der Galvanoplastik, Färberei und zum Konservieren Anwendung findet. Das schwefelsaure Eisen oder der Eisenvitriol ist grün und wird als Desinfektionsmittel, zur Bereitung von Tinte und in der Färberei gebraucht. Zinkvitriol ist weiß. Das schwefelsaure Natrium oder Glaubersalz kristallisiert in farblosen Säulen und wird als Abführungsmittel benutzt. Bei 33° besitzt es seine größte Löslichkeit. Bittersalz ist schwefelsaures Magnesium, ebenfalls Abführmittel, in den Abraumsalzen, im Meere und in den Bitterwässern vorkommend. Gips ist schwefelsaures Calcium (Fr. 6). In der Natur tritt er farblos als Marienglas auf, faserig und seidenglänzend als Fasergips, körnig als Alabaster, derb als gewöhnlicher Gips und wasserfrei als Anhydrit (die beiden letzten häufig mit Steinsalz zusammen). Einen Gipskristall zeigt Fig. 12. Alaun kristallisiert in farblosen Oktaedern (oft mit abgestumpften Ecken) und wird in der Färberei (als Beizmittel), Gerberei und Medizin angewendet. Er ist ein Doppelsalz von schwefelsaurem Aluminium und schwefelsaurem Kalium.

Fig. 12.



Kupfervitriol, Eisenvitriol, Bittersalz, Gips und Alaun sind wichtige schwefelsaure Salze oder Sulfate.

---

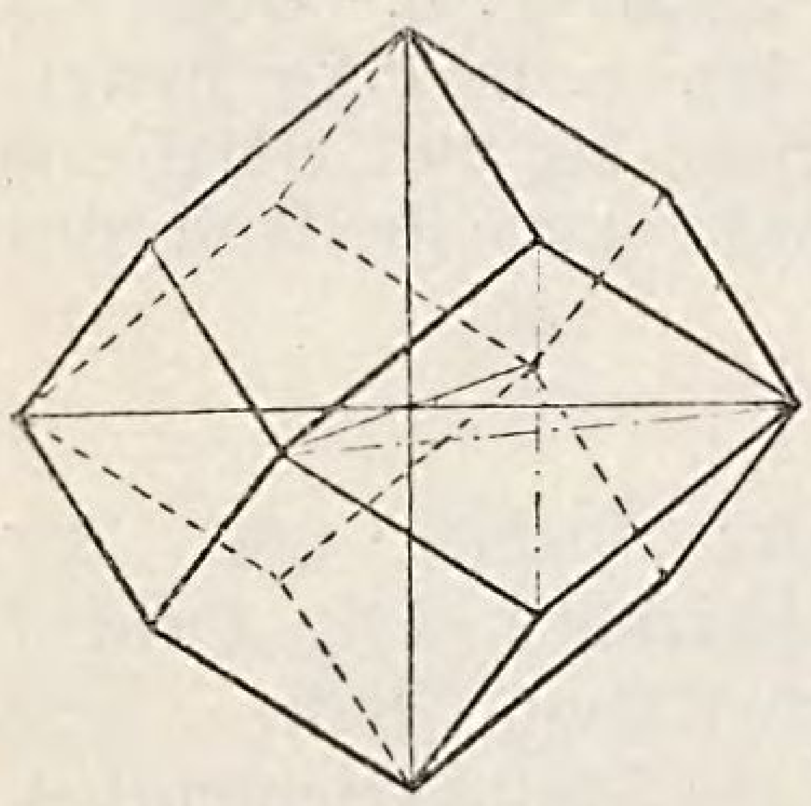
**Übungsstoff.** 1. Unterscheide Sulfide und Sulfate! — 2. Warum wendet man Kupfervitriol a. im galvanischen, b. im galvanoplastischen Element an? — 3. Stelle die dagewesenen Kupfer-, Eisen- und Natriumverbindungen zusammen! — 4. Wenn man

blankes Eisen in Kupfervitriollösung taucht, so überzieht es sich rot. Erkl.? — **5.** Der aus hartem Wasser sich bildende Kesselstein enthält Gips. Welche Eigenschaft des letzteren ergiebt sich daraus? (Schädlichkeit dess.) — **6.** Die Flammenfarbe des Gipses ist nicht deutlich. Wenn man ihn jedoch mit Kohlenpulver glüht und den Rückstand mit Salzsäure behandelt, so zeigt sich deutlich das Rotorange des Calciums. Erkl.? — **7.** Erhitze Kupfer- oder Eisenvitriol auf etwa 150°! Was zeigt sich? Grund? — **8.** Eisenvitriol hinterläßt beim Glühen ein rotes Pulver. Erkl.? — **9.** Ziehe einen Alaunkristall! — **10.** Welches ist der Querschnitt des Gipskristalls in Fig. 12? — **11.** Ein ungebeizter Stoff verliert seine Farbe leicht; welche Aufg. hat also die Beize? — **12.** Wie gewinnt man das Silber durch Kupfer auf nassem Wege (Fr. 4)? — **13.** Läßt sich aus einem Salz das Metall durch ein anderes Metall austreiben? — **14.** Wie erhält man einen festen K. aus seiner Lösung in W. zurück? — **15.** Wie gewinnt man aus einem Salz die Säure wieder? Wird das Metall dabei frei werden können? Grund? — **16.** Kupferoxyd löst sich in verd. Schwefelsäure; es entsteht eine blaue Flüssigk. Erkl.? Wie wirkt daher die Säure beim Reinigen von Metallen (Kupferwasser)? — **17.** Auf welche verschied. Arten kann ein Salz entstehen? (am Zinkvitriol und Glaubersalz zu zeigen). — **18.** Rühre Gipspulver mit etwas Wasser an und lasse die Mischung stehen! Erg.? Anwendung des Gipses?

---

**§ 13. Kristallformen.** Würfel und Oktaeder sind Formen des regulären Kristallsystems. Die drei Achsen desselben (Fig. 2 u. 10) sind gleich lang und stehen auf einander senkrecht, was man am besten am Drahtmodell erkennt. Ebenfalls eine reguläre Form ist der Rhombenzwölfflächner*) (Fig. 13, Magneteisen). — Die drei Achsen eines Zinnerzkristalls (Fig. 3) stehen zwar auch auf einander senkrecht, aber die Hauptachse ist ungleich: quadratisches Kristallsystem. — Die drei Achsen eines Schwefeloktaeders (Fig. 7) stehen auf einander senkrecht, sind jedoch alle ungleich: rhombisches Kristallsystem. — Im schiefwinkligen Systeme stehen die Achsen nicht sämtlich senkrecht zu einander (Fig. 12).

Fig. 13.



Kristallsysteme sind das reguläre, das quadratische, das rhombische und das schiefwinklige (vgl. §§ 19 u. 23).

---

**Übungsstoff.** **1.** Warum die Namen quadratisches Kristallsystem? rhombisches Kristallsystem? — **2.** Welche Lage nehmen in den verschiedenen Kristallformen die Flächen zu den Achsen ein? — **3.** Warum haben die Achsen der Kristallf. gerade die angegebene Lage? — **4.** Ordne die dagewesenen Kristallisationsbeispiele in das betr. Syst. ein! — **5.** Zeichne und modelliere ein Rhombendodekaeder! — **6.** Stelle aus einer großen Kartoffel ein Oktaeder her. Versuche, durch Abstumpfung der Ecken einen Würfel (aus einem anderen Okt. durch Abst. der Kanten ein Rhombendodek.) zu erhalten! — **7.** Warum sieht man das Oktaeder als die Grundform an? — **8.** Versuche, die Kristallformen aus dem Gedächtnis zu zeichnen! — **9.** Stelle aus Korken und Stricknadeln verschiedene Achsensysteme dar. — **10.** Die in Fig. 12 punktierten Linien deuten an, daß durch das Wachstum von 4 Längsflächen ein Rhombus als Querschnittfigur entsteht; in demselben sind die beiden Horizontalachsen die Diagonalen. Welche beiden Kristallflächen verschwinden dann?

---

**§ 14. Salpeter.** Der Salpeter, als weißes Pulver oder in farblosen, prismatischen Kristallen erhältlich, wird zur Bereitung von Schießpulver benutzt. Wie die Flammenfarbe zeigt, enthält er Kalium. Schmelzt man ihn und wirft Schwefel hinein, so verbrennt dieser mit glänzendem Licht. Mischt man Salpeter

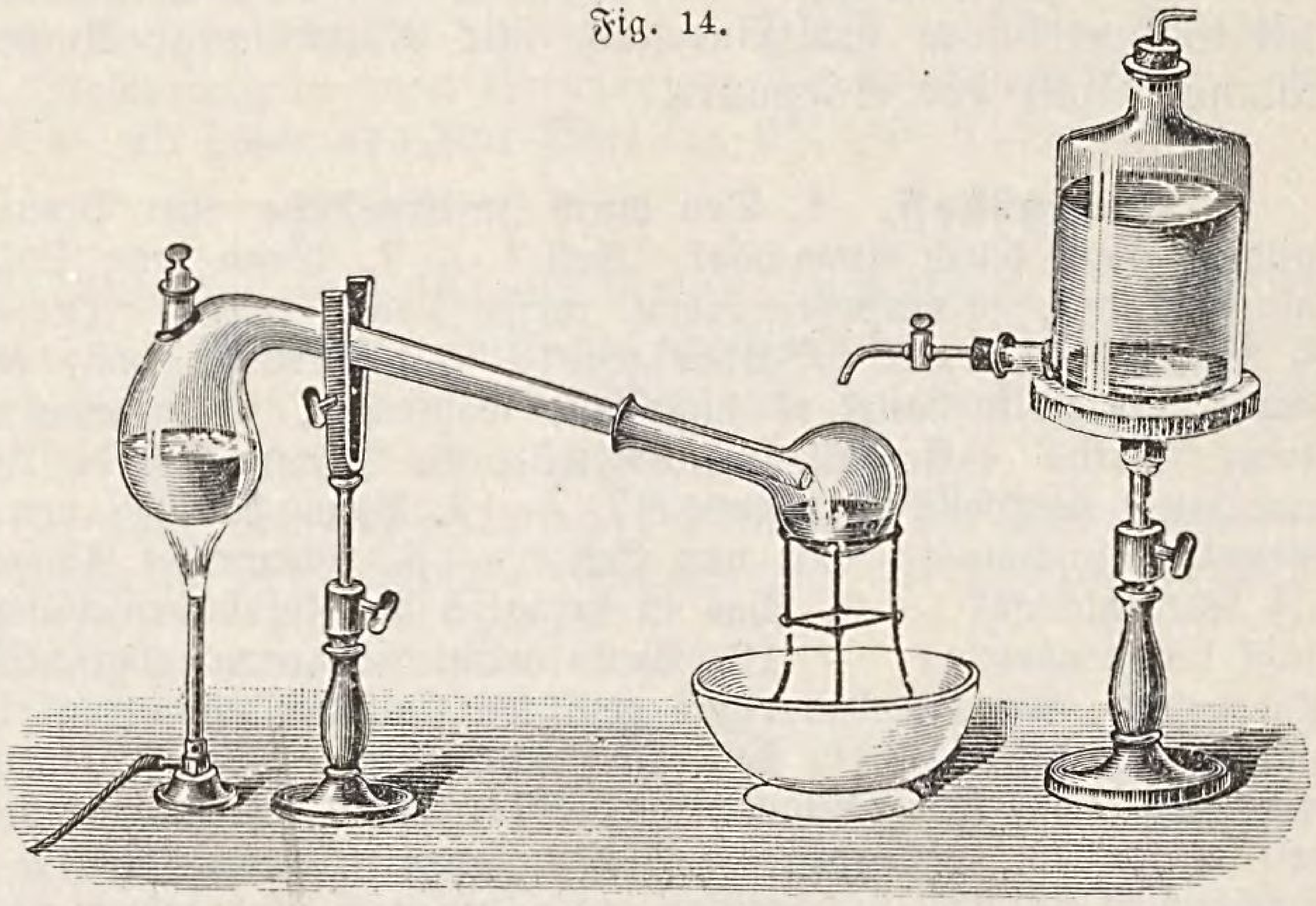
*) oder Rhombendodekaeder: dódeka = zwölf.

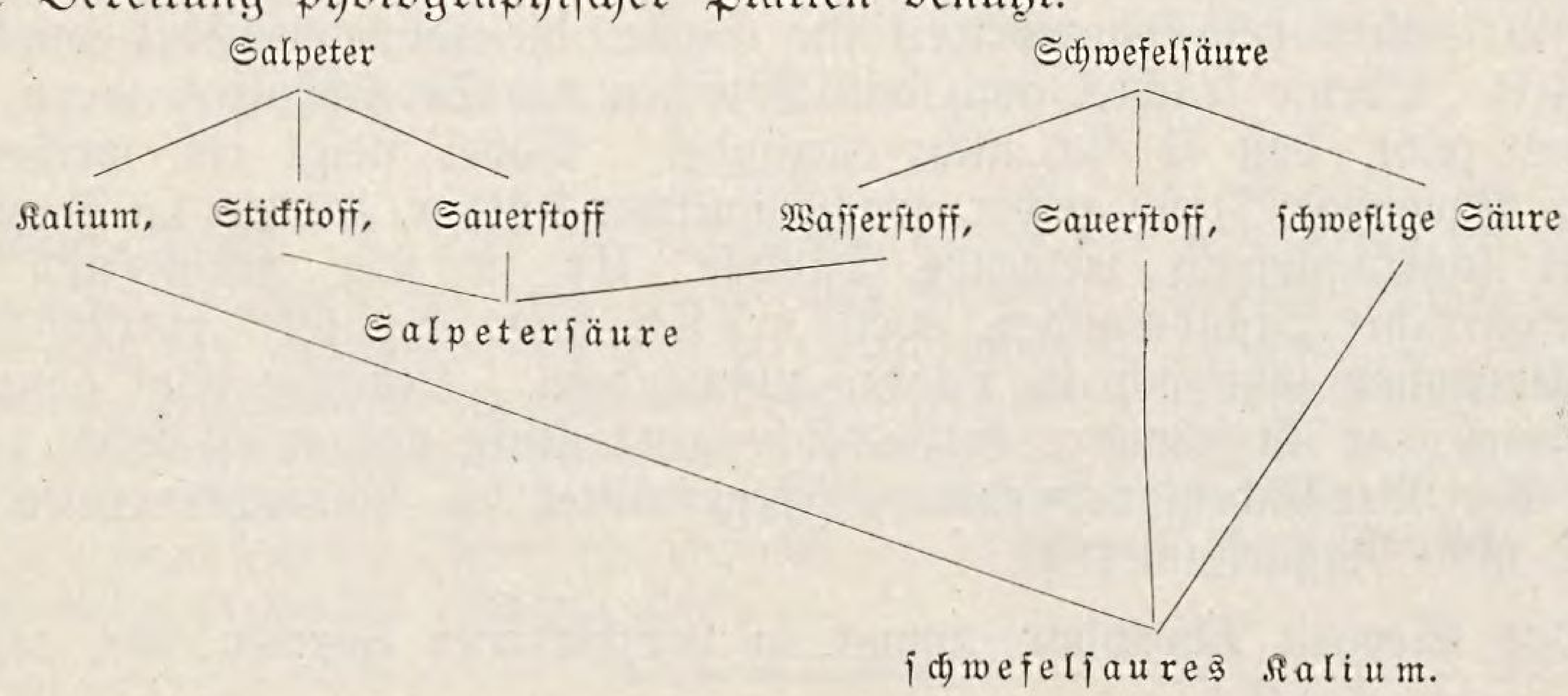
mit Eisenfeile, so entweicht beim Erhitzen ein farb- und geruchloses Gas, welches die Verbrennung nicht unterhält. (Vgl. § 4.)

Salpeter besteht aus Stickstoff, Sauerstoff und Kalium.

Der Chilisalpeter enthält Natrium. Der Mauersalpeter (an Aborten, Ställen u. a.) ist Calciumsalpeter. Da er sich bildet, wo organische Stoffe verwesen, so ist in diesen Stickstoff vorhanden. — Man übergieße Salpeter mit konz. Schwefelsäure, erwärme und fange das Destillat in einer Kühlvorlage auf (Fig. 14). Es ist eine starke Säure entstanden: die Salpetersäure. Da sie Silber auflöst, so dient sie als Scheidewasser, um Silber von Gold zu trennen. Ein Gemisch von Salzsäure und Salpetersäure, das Königswasser, löst sogar Gold (den König d. Met.) und Platin auf. Das salpetersaure Silber, der Höllenstein, wird als Ätzmittel in der Heilkunde und zur Bereitung photographischer Platten benutzt.

Fig. 14.






**Übungsstoff.** **1.** Erkl. den Namen „Salpeter" (sal petrae)! — **2.** Aus Chilisalpeterlösung stellt man mittelst Sylvin Kaliumsalpeter dar. Schema? — **3.** Welche Elemente kommen in org. Stoffen vor? — **4.** Warum ist Salpeter ein gutes Düngmittel? — **5.** Woher stammt der Stickstoff der org. Stoffe auffälligerweise nicht? — **6.** Die bisher behand. Säuren, ihre Zus. u. Eigensch. — **7.** Zu welchen physikalischen Versuchen wird Salpeters. angewendet? — **8.** Giebt es Metalle, die nicht von Säuren aufgelöst werden? — **9.** Bringt man zu einer Lös. von Höllenstein gelöstes Kochsalz, so entsteht ein weißer Niederschl. Woraus besteht er? Sein Verhalten im Sonnenlicht? (Grundprozeß in der Photographie). — **10.** Wirkt Kupfer auf Salpeters., so entweichen rotbraune Dämpfe; vgl. damit das Verhalten der Schwefels.!

**§ 15. Ammoniak.** Der z. B. zum Fleckenausbringen benutzte sog. Salmiakgeist erinnert durch seinen stechenden Geruch an schlecht gelüftete Aborte und Ställe. Dieser stammt von einem Gase, welches reichlich*) in Wasser gelöst ist und

*) 1 Raumt. Wasser löst bei 15 ° 700 R. Ammoniakgas.

den Namen **Ammoniak** führt. Dasselbe bläut Lackmus. Leitet man einen langsamen Strom von Chlor*) in (viel!) konz. Ammoniakflüssigkeit, so tritt das Chlor unter Feuererscheinung ein. Es verbindet sich nämlich mit dem Wasserstoff des Ammoniaks. Das freiwerdende Gas erkennt man als Stickstoff.

Ammoniak — ein stark basisches Gas — besteht aus Wasserstoff und Stickstoff.

Der zum Löten, in der Färberei und Medizin benutzte **Salmiak** giebt mit Schwefelsäure Salzsäuregas, mit Natronlauge Ammoniak. Er ist also das Ammoniaksalz der Salzsäure.

---

**Übungsstoff.** 1. Den durch Insektenstiche oder Brennnesseln erzeugten Schmerz mildert man durch Ammoniak. Erkl.? — 2. Wenn man Salzsäure und Ammoniak zusammenbringt, so entstehen dichte, weiße Nebel. Erkl.? (Erkennung beider Stoffe.) — 3. Woher der Name „Salmiakgeist"? — 4. Wenn man ein Stück Blei auf erhitztes Kupfer bringt, so haftet es nicht fest, wohl aber, wenn man vorher etwas Salmiak aufstreut. Erkl.? — 5. Erkl. das Löten! — 6. Warum sind die Ammoniaksalze (oder Ammoniumsalze) wertvolle Düngemittel? — 7. Beim Erhitzen von Horn, Leder oder Haaren entweicht Ammoniak. Erk. und Erkl.? — 8. Warum ist Ammoniak eine schwächere Basis als Natronlauge? — 9. Was ist bezüglich der Zusammensetzung von Ammoniak und Salmiak beachtenswert? — 10. Wenn man die genau abgeschliffenen Ränder zweier mit Ammoniak-, bezw. Salzsäuregas gefüllten Cylinder zusammenbringt, so haften sie fest aneinander. Erkl.? — 11. Wie ist zu verfahren, um das schwefelsaure Salz des Ammoniaks als festen K. zu erhalten? — 12. Wenn Ammoniak- oder Salzsäuregas durch W. geleitet werden, so werden die Blasen immer kleiner. Erkl.? — 13. Warum muß diese Erscheinung anfangs am meisten, nach und nach aber immer weniger hervortreten?

---

**§ 16. Phosphor.** Wird ein Phosphorstreichholz im Dunkeln angestrichen, so leuchtet (phosphoresciert) die Stelle, die davon berührt wurde, noch einige Zeit. Ebenso leuchtet auch das Köpfchen des Streichholzes, wenn man es so schwach reibt, daß es sich nicht entzündet. Dabei steigt ein weißer Rauch auf. Der Phosphor,**) ein gelber, wachsähnlicher Körper, leuchtet im Dunkeln und verbreitet knoblauchartig riechende Dämpfe. Er ist sehr giftig und erzeugt leicht gefährliche Brandwunden, weil er sich schon bei 60° entzündet. Der **gelbe Phosphor** läßt sich in **roten** umwandeln. Letzterer zeigt ganz andere Eigenschaften; er ist schwerer entzündlich, nicht giftig und wird daher zur Herstellung der Reibflächen verwendet. (Gegenmittel bei Phosphorvergiftung sind Eisenrost und Magnesiumoxyd.)

Das Element Phosphor kommt in verschiedenen Formen vor, als gelber und als roter Phosphor.

In Sauerstoff verbrennt der gelbe Phosphor mit starker Lichterscheinung zu einem weißen, zerfließlichen, Lackmus rötenden Pulver, der **Phosphorsäure**, welche für die Lebewesen von hoher Bedeutung ist. Ohne phosphorsaure Salze (**Phosphate**) ist z. B. die Samenbildung des Getreides nicht möglich. Die Knochen bestehen zum großen Teile aus phosphors. Calcium, welches in Wasser unlöslich, aber in Salzsäure löslich ist; auch im Blut, Fleisch, Gehirn u. a. kommt Phosphors. vor.

---

**Übungsstoff.** 1. Unterscheide verschiedene Arten von Streichhölzern! — 2. Die chem. Vorg. beim Brennen ders. — 3. Warum muß man g. Phosphor unter Wasser aufbewahren? — 4. Warum ist die durch Erhitzen der Knochen erhaltene Knochenasche (Knochenmehl) ein wichtiges Düngemittel? — 5. Warum wird dieselbe mit Schwefelsäure aufgeschlossen

*) Man unterbreche die Einleitung von Chlor möglichst bald.
**) phos = Licht, phoros = Träger.

(löslich gemacht)? — **6.** Die Aggregatzustände der verschiedenen Säuren. — **7.** Inwiefern stimmt die Art der Feuererzeugung durch Stahl und Feuerstein mit derjenigen durch Zündhölzchen überein? Wodurch unterscheiden sich beide? — **8.** Welchen Zweck hat der Schwefel an den Schwefelstreichhölzchen? — **9.** Welche Vorzüge haben letzteren gegenüber die schwedischen Zündhölzer? — **10.** Wegen welcher Eigenschaft ist der Phosphor bes. für Zündholzkuppen geeignet? — **11.** Führe alle Erschn. an, die sich beim Anzünden und Verbr. von Streichh. a. für das Auge, b. für den Geruch zu erkennen geben! — **12.** Die Knochen bestehen zu $^1/_3$ ihres Gewichtes aus leimgebender Knorpelsubstanz; wie isoliert man diese, um Leim zu gewinnen? — **13.** Der der Güte des Eisens nachteilige Phosphorgehalt dess. wird bei der Stahlbereitung durch Überführung des Phosphors in die sog. Thomasschlacke beseitigt. Was gilt daher von dem Wert der letzt. als Düngemittel?

---

**§ 17. Arsenik.** Fliegenpapier ist mit Arsenik getränktes Löschpapier. Der weiße Arsenik ist eins der heftigsten Gifte. Ein Körnchen desselben bringe man in die Spitze eines Glasröhrchen und darüber ein Splitterchen Holzkohle. Beim Erhitzen setzt sich ein schwarzer, metallglänzender Spiegel an: Arsen. Dieses kommt als schwarzgrauer Scherbenkobalt natürlich vor und verbrennt mit Knoblauchgeruch zu einem weißen Pulver. (Gegenmittel wie beim Phosphor.)

Arsenik besteht aus Arsen und Sauerstoff.

Das wichtigste Erz zur Arsenikgewinnung ist der grauglänzende Arsenkies, aus Arsen und Eisen bestehend. Der Kupfernickel enthält Arsen und Nickel und dient zur Darstellung des letzteren; er ist kupferrot.

Dem Arsen nahe verwandt ist das Antimon, mit welchem oft das Blei zur Härtung desselben legiert wird (Letternmetall). Eine häufig vorkommende Antimonverbindung ist der Grauspießglanz (oder Schwefelantimon). Schwefelsilber kommt mit Antimon zusammen als dunkles, mit Arsen als helles Rotgiltigerz vor, welches das wichtigste Silbererz ist.

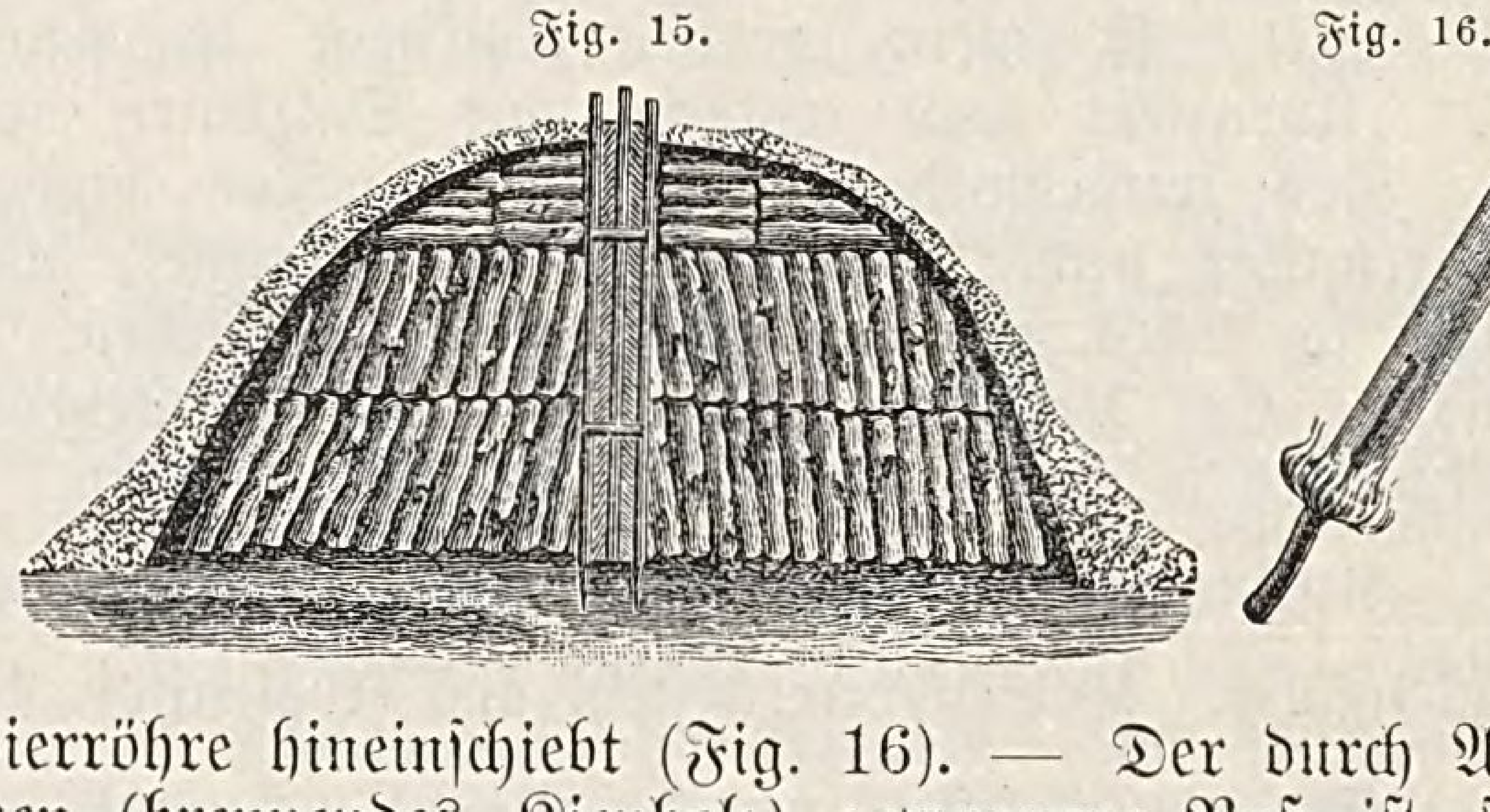
---

**Übungsstoff.** **1.** Was ist das weiße Pulver, zu dem Arsen verbrennt? — **2.** Kupfernickel entwickelt vor dem Lötrohr nach Knoblauch riechenden Rauch. Erkl.? — **3.** Weise nach, daß im Kupfernickel kein Kupfer enthalten ist! (Name?) — **4.** Untersuche Arsenkies! — **5.** Behandelt man Schweinfurter Grün, einen schön grünen Farbstoff (oder etwa ein Stück mit diesem gefärbter Tapete) nach Fr. 2, so entsteht nach Knoblauch riechender Rauch. Schluß? — **6.** In Wasser gelöster Arsenik rötet (schwach) Lackmus. Erkl. daher den Namen arsenige Säure für Arsenik! — **7.** Woraus ist zu schließen, daß Phosphor und Arsen verwandte Elemente sind?

---

**§ 18. Kohle.** Wird Holz bei genügendem Luftzutritte verbrannt, so hinterbleibt eine geringe Menge festen Stoffes, die graue Asche, während bei ungenügendem Zutritte der Luft fast ebensoviel schwarze Kohle zurückbleibt, als an Holz verbrannt wurde (Gewinnung von Holzkohle in Meilern, Fig. 15). Die Entstehung von Kohle aus Holz tritt im kleinen sehr deutlich hervor, wenn man einen brennenden Holzspan allmählig in eine Probierröhre hineinschiebt (Fig. 16). — Der durch Auffangen schwalchender Flammen (brennendes Kienholz) gewonnene Ruß ist fein zerteilter Kohlenstoff und dient zur Bereitung von Druckerschwärze und schwarzer

Fig. 15. Fig. 16.



Farbe. Durch Verkohlung tierischer Substanzen, namentlich der Knochen, wird die Tierkohle (Knochenkohle) erhalten.

Schüttelt man fauliges Blumenwasser oder (etwa durch Tinte) gefärbtes W. mit Holzkohlen- oder Knochenkohlenpulver und filtriert darauf, so läuft das W. vollkommen farblos hindurch. Holz- und Knochenkohle sind infolge ihrer hohen Absorptionskraft wichtige Reinigungs- und Entfärbungsmittel.

Kohle ist bei gewöhnlicher Temperatur unzerstörbar (§ 3, Fr. 14).

Alle organischen Körper enthalten Kohlenstoff. Die Verkohlung ist eine unvollständige Verbrennung.

Steinkohle und Braunkohle sind im Laufe von Jahrmillionen aus untergegangenen Wäldern entstanden. Erstere enthält gegen 80 %, letztere 60 % Kohlenstoff (außerdem Wasserst., Sauerst., Stickst., Schwefel). Die Steinkohle findet sich in meist 1—2 m mächtigen Schichten, welche durch Sandstein, Kalk u. a. getrennt sind. Deutschlands Hauptkohlenplätze: an der Saar, der Ruhr, bei Aachen, in Schlesien, in Sachsen. (England.) (§ 22.)

Der Diamant ist ebenfalls Kohlenstoff. Glanz, Lichtbrechungsvermögen und Härte (welche die aller anderen Körper übertrifft) machen ihn zum wertvollsten Edelstein. Er kristallisiert meist in Rhombendodekaedern (Fig. 13); ein Karat (0,2 g) kostet geschliffen 200 Mark. (Brasilien, Südafrika, Ostindien.)

Der Graphit (Passau, Altai) ist auch Kohlenstoff und wird zu Bleistiften, zum Schwärzen u. a. verwendet.

---

**Übungsstoff.** **1.** Wie ändert sich beim Verkohlen von Holz a. das Gewicht, b. die Größe, c. die Farbe, d. die Festigkeit, e. die Zerstörbarkeit dess.? — **2.** Was läßt sich aus der Gewichtsabnahme schließen, und wie läßt sich dies bestätigen? — **3.** Worauf haben die Köhler besonders zu achten, damit das zu verkohlende Holz möglichst viel Kohle und keine Asche hinterläßt? — **4.** Warum muß bei unseren Feuerungsanlagen (Herd und Ofen) das Gegenteil davon erzielt werden? — **5.** Wie hat man zu verfahren, a. um trübes W. trinkbar zu machen, b. um vollkommen reines W. aus dems. herzustellen? — **6.** Warum werden die in die Erde zu rammenden Pfähle oberflächlich verkohlt? — **7.** Beschreibe die Arbeit in einem Kohlenbergwerk an der Hand einer Abbildung! — **8.** Der aus vermodernden Moosen sich bildende Torf besteht ebenfalls zum großen Teil aus Kohlenstoff. Welches Moos beteiligt sich namentlich an seiner Bildung? Wozu verwendet man Torf? — **9.** Wieviel kostet ein Brillant von 8 g Gewicht? — **10.** Belege durch Beispiele, daß der Kohlenstoff a. unser wichtigster Heizstoff, b. unser wichtigster Leuchtstoff und c. der wichtigste Stoff zur Metallgewinnung (§ 3) ist! — **11.** Die Anw. der Kohle zu elektr. Zwecken.

---

**§ 19. Kalkstein.** Der beim Bau eines Hauses nicht zu entbehrende Kalk tritt als meist grauer Kalkstein in großen Massen gebirgsbildend auf. Übergießt man letzteren mit Salzsäure, so tritt lebhaftes Aufbrausen ein. Das freigewordene Gas ist geruchlos, schwach sauer und unterhält die Verbrennung nicht. Leitet man es (getrocknet) über erhitztes Kalium, so entzündet sich dieses, und Kohlenstoff wird abgeschieden. Das Gas ist daher Kohlensäure, aus Kohlenstoff und Sauerstoff bestehend. Die Flammenfarbe des Rückstandes weist auf Calcium („Kalkmetall") hin. (Fr. 1.)

Kalkstein (kohlensaures Calcium) besteht aus Calcium, Sauerstoff und Kohlensäure. Kohlensäure besteht aus Kohlenstoff und Sauerstoff.

Ehe der Kalkstein auf den Bauplatz kommt, wird er gebrannt, d. h. bis zum Glühen erhitzt. Der gebrannte Kalk ist leichter und schäumt auf Säurezusatz

nicht: ist also Calciumoxyd. Dieses wird „gelöscht", d. h. mit Wasser übergossen. Die starke Erhitzung weist auf eine chemische Vereinigung: Ätzkalk, welcher in Wasser etwas löslich ist (Kalkwasser).

Kristallisierter Kalkstein heißt Kalkspat. Die Kristallform ist oft ein von sechs gleichen Rhomben begrenztes Prisma (Rhomboeder, Fig. 17). Marmor

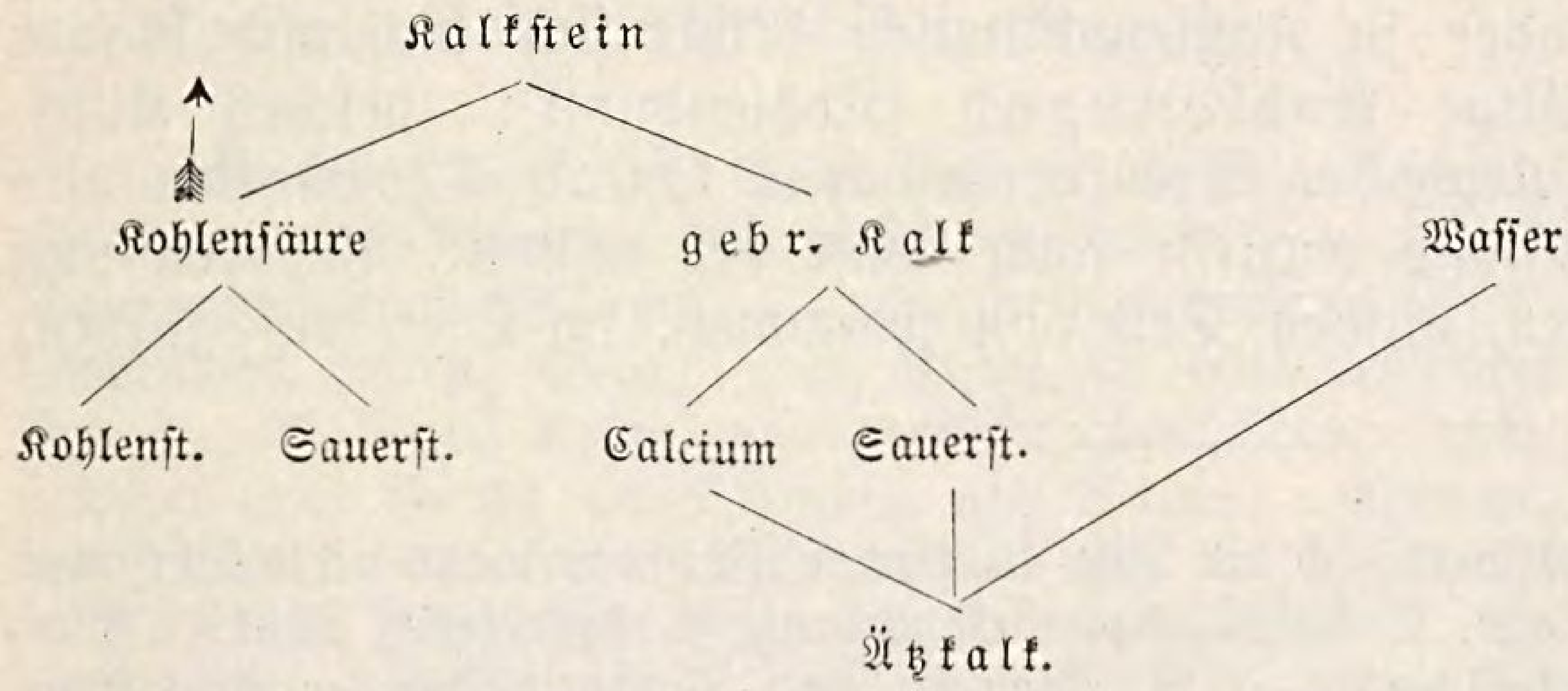
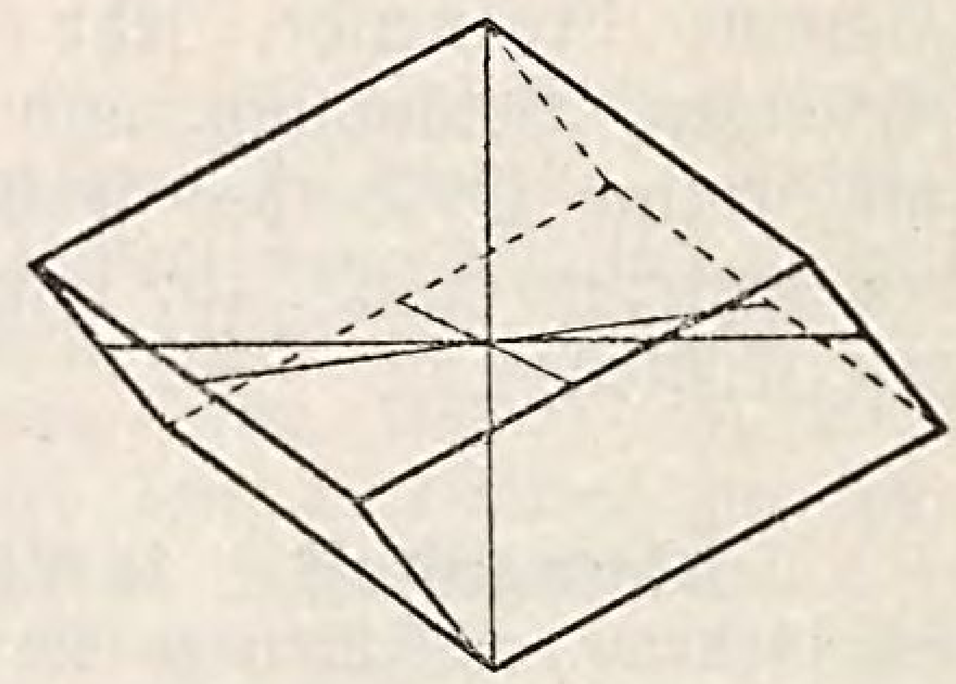



Fig. 17.



ist kristallinischer Kalkstein. Besondere Formen des dichten Kalksteins sind der lithographische Schiefer (Solenhofen) und die Kreide. (Kalksinter § 20.)

---

**Übungsstoff.** 1. Warum ist nach obigem Versuch außer Calcium und Kohlensäure noch Sauerst. im Kalkst.? — **2.** Nenne Kalkgebirge! — **3.** Was ist außer gelöschtem Kalk noch erforderlich, um Mörtel zu bereiten? Wozu dient dieser? — **4.** Anw. der verschiedenen Arten des Kalksteins. — **5.** Unterscheide Kalk und Gips! — **6.** Erwärmt man ein Gemisch von Ätzkalk und Salmiak, so entweicht ein stechend riechendes, stark basisches Gas — welches? Erk. und Erkl.? — **7.** Ist Kalkstein ein Salz? Grund? — **8.** Die Löslichkeit der bisher behandelten Salze in Wasser. — **9.** Untersuche Kesselstein mit Salzsäure! Erg.? (vgl. § 12, Fr. 5!) — **10.** In der Gebläseflamme giebt Kalk ein helles Licht. Anw.? (Die Oxyde gewisser seltener, dem Calc. ähnlicher Metalle zeigen diese Ersch. schon bei gering. Hitze.) — **11.** Vgl. Ätzkalk und Ätznatron!

---

**§ 20. Kohlensäure.** Leitet man Kohlensäure in klares Kalkwasser, so trübt es sich stark. Das Gas verbindet sich mit dem Ätzkalk zu kohlensaurem Kalk, welcher sich, weil in Wasser unlöslich, als weißer Niederschlag abscheidet.

Kohlensäure und Kalkwasser sind gegenseitige Erkennungsmittel.

Setzt man das Einleiten von Kohlensäure fort, so verschwindet die Trübung (zum Teil) wieder: in kohlensäurehaltigem Wasser ist kohlensaurer Kalk etwas löslich. Beim Verdunsten oder Erwärmen der Lösung tritt die Abscheidung des Kalksteins wieder ein. Auf solche Weise ist die Bildung von Tropfstein, Tuffstein, Sprudelstein, Kalksinter zu erklären. Die seltsamen Gebilde der Hermannshöhle im Harz, der Dechenhöhle in Westfalen, der Adelsberger Grotte bei Triest u. a., sowie diese Höhlen selbst sind daher durch Wasser entstanden. Eier- und Weichtierschalen, Perlen und Korallen sind Kalkgebilde des tierischen Körpers.

Menschen, Tiere und Pflanzen atmen stets Kohlens. aus. Zum Aufbau ihres Körpers nehmen indes die letzteren unter Einwirkung des Lichtes Kohlens. auf, zersetzen sie, behalten den Kohlenstoff und scheiden Sauerstoff aus. (Bei Menschen und Tieren wirkt eingeatmete Kohlens. als Gift.) Wo organische Substanzen verbrennen oder verwesen, tritt die Kohlens. ebenfalls auf. In mangelhaft gelüfteten Bier- und Weinkellern und in tiefen Schächten sammelt sie sich bisweilen in großer Menge an. An manchen Orten entströmt sie sehr reichlich dem Boden (Dunsthöhlen, z. B. die Hundsgrotte bei Neapel). Der frische Geschmack des Trinkwassers, das Schäumen des Bieres, das Prickeln des Selterswassers sind gleichfalls durch die Kohlens. bedingt.

Durch einen Druck von 60 Atm. wird Kohlensäure flüssig und kommt in dieser Form in eisernen Cylindern in den Handel. Sie dient z. B. zur Konservierung von Bier, sowie um dasselbe durch den Druck des Gases aus den Lagerräumen in die Schankräume zu heben. Die ausströmende flüssige Säure erstarrt sofort zu einer schneeigen Masse, deren Temp. — 70° beträgt.

Auf Holzkohlenbecken oder in Kohlenplätteisen bildet sich das mit blauer Flamme brennende, sehr giftige Kohlenoxyd (Kohlendunst), welches Kopfschmerzen, Betäubung und zuletzt den Tod verursachen kann. Dieses ebenfalls gasförmige Oxyd des Kohlenstoffs entsteht auch sonst bei unvollk. Verbrennung des letzteren (z. B. im unteren, blauen Teil von Flammen, im Ofen auf glühenden Kohlen).

---

**Übungsstoff.** **1.** Wie ändert sich die Luft in einem Zimmer, wenn viele Personen sich in dems. aufhalten a. am Tage, b. bei Lampenbeleuchtung, c. bei elektr. Licht? Was folgt hieraus in hygienischer Beziehung? — **2.** Warum sind Topfgewächse in Schlafzimmern stets mehr oder weniger schädlich? — **3.** Im Ackerboden entsteht durch das Faulen org. Stoffe Kohlens. Wie wird sich demnach das W. der atm. Niederschläge beim Hindurchsickern durch den Boden verändern? — **4.** Wie läßt sich mit Hilfe von Kalkwasser und einer Glasröhre oder eines Strohhalms ausgeatmete Luft auf ihren Gehalt an Kohlensäure untersuchen? — **5.** Zur Untersuchung von Zimmerluft sollen außer den gen. Hilfsmitteln noch ein Blasebalg und ein Gummischlauch gegeben sein. Wie ist zu verfahren? — **6.** Weise im Selterssw. Kohlens. nach! Wieso läßt sich Mineralw. zur Gew. von Kohlens. benutzen? — **7.** Wenn man ein Probiergläschen kurze Zeit schräg über eine Flamme hält, darauf etwas Kalkw. in dasselbe gießt und kräftig schüttelt, so wird das W. milchig. Erkl.? (vgl. Fr. 1). — **8.** Vgl. Dornenstein (Fig. 9) und Kesselstein nach Bildung und Zusammens.! — **9.** Aus welcher Kalkverbindung läßt sich durch Glühen die Säure, aus welcher dagegen nur das Kristallw. austreiben? Wie verhalten sich beide nach dieser Behandlung gegen W.? — **10.** Welche Erschn. treten ein, wenn man einen glimmenden Span in 3 Gefäße eintaucht, welche mit atm. Luft, mit Sauerst. und mit Kohlens. gefüllt sind? — **11.** Kohlens. läßt sich aus einem Gefäß in ein anderes gießen. Vgl. hiernach ihr spez. Gew. mit dem der atm. Luft! — **12.** Warum ersticken kleine Tiere (z. B. Hunde) leicht in Dunsthöhlen? (Hundsgrotte!) — **13.** Welche Gefahr droht bisweilen in Gärungskellern? Wie ist sie zu erkennen? Wie ist ihr zu begegnen? — **14.** Vgl. die Eigensch. des W., der Kohlens., der schwefl. Säure und der atm. Luft mit den Eigensch. ihrer Bestandteile! Wieso folgt daraus, daß die Luft keine chem. Verbindung ist? — **15.** Welches Ammoniaksalz läßt sich aus org. Stoffen herstellen? Wie entsteht es in der Natur? — **16.** Wieso ergänzen sich Pflanzen und Tiere? (§ 4, Fr. 5.) — **17.** Obgleich die Verbrennung in einer Verbindung mit Sauerst., also in einer Gewichtszunahme besteht, so tritt beim Verbr. von Holz u. a. eine Gewichtsverminderung ein. Erkl.? — **18.** W. muß man Natronlauge und Ammoniak in gut verstopften Flaschen aufbewahren?

---

**§ 21.** **Soda** ist ein im Haushalt gebrauchtes Reinigungsmittel. Sie wird häufig benutzt, wenn es die Nachteile des harten Wassers (beim Waschen und Kochen) zu beseitigen gilt, ferner bei der Fabrikation des Glases und der Seife. Durch die Flammenfarbe giebt sich Natrium kund; bei Säurezusatz entweicht Kohlensäure.

Soda ist kohlensaures Natrium.

Weil in der Soda eine schwache Säure mit einer starken Basis verbunden ist, so zeigt sie basische Reaktion. Hartes Wasser macht sie weich, indem sie mit Gips und gelöstem Kalkstein Niederschläge von unlöslichem kohlensaurem Kalk bildet. — Leitet man Kohlensäure in Sodalösung, so entsteht doppeltkohlensaures Natrium (Bullrichs Salz), welches in der Medizin und zur Bereitung von Brausepulver Verwendung findet.

Von Bedeutung sind noch folgende kohlensauren Salze (Karbonate). Der Zinkspat oder Galmei (weiß bis braun) ist das wichtigste Erz für die Zinkgewinnung. Der Eisenspat (braun) ist zur Stahlbereitung sehr gut geeignet; er findet sich auch in sog. Stahlwässern gelöst. Der Dolomit (Magnesium- und Calciumkarbonat) bildet Gebirge (Gotthard, Brenner). Leitet man Kohlensäure in Ammoniakwasser, so entsteht doppeltkohlensaures Ammoniak, welches mit Kochsalz Soda liefert (Solvayprozeß).

---

**Übungsstoff.** **1.** Soda und hartes W. (Schema.) – **2.** Warum wird Bullrichs Salz gegen Sodbrennen (Magensäure) benutzt? — **3.** Untersuche Eisenspat! — **4.** Das Solvayverfahren (Schema). — **5.** Bringt man zu in W. gelöstem doppeltkohlens. Natron Weinsäure (weiß. Pulv.) oder Essig, so tritt lebhaftes Aufbrausen ein (Brausepulver). Erkl.? — **6.** Durch Erhitz. von doppeltkohlens. Natr. erhält man Soda. Erkl.? — **7.** Salze bestehen aus Metall (oder Amm.) und Säure. Warum wird beim Austreiben der letzt. das Metall nicht frei? Wie verhält sich in diesem Falle das Ammoniak? Erkl.? — **8.** Führe zu Folgendem Beisp. an und gieb die Erkl.: Salze können entstehen a. aus Metallsulfiden und Säuren, b. aus anderen Salzen durch Einwirk. einer stärk. Säure, c. einer stärk. Basis. d. Aus 2 in W. gelösten Salzen können sich 2 neue Salze bilden (Wechselzersetzung — § 14, § 21). e. Wenn ein unlösl. Salz entstehen kann, so findet die Zers. eines Salzes selbst durch eine schwäch. Säure statt (§ 20). f. Ein neues Salz kann auch dadurch entstehen, daß ein Salz weitere Säure aufnimmt oder diese wieder abgiebt (§ 21). — **9.** Die aus wäss. Lösung gewonn. Salze enthalten meist W. (Kristallwasser). Bew.! — **10.** Doppeltkohlens. Ammoniak stellte man früher durch Erhitzen tierischer Abfälle (Horn, Leder, Klauen u. a.) dar (Hirschhornsalz). Erkl.? — **11.** Aus Eisensalzlösungen fällt Ammoniak einen rotbraunen, aus Kupferlösungen fällt schwefelwasserstoffhaltiges W. einen schwarzen Niederschl. Erkl.? — **12.** Das Gerinnen der Milch an der Luft ist eine Folge von Säurebildung (Milchsäure). W. wird daher das Gerinnen durch Zusatz von doppeltkohlens. Natron einige Zeit verhindert? — **13.** Untersuche Pottasche (Hauptbestandteil der Pflanzenasche) in derselben Weise, wie es mit Soda geschehen ist! Ergebnis?

---

**§ 22. Leuchtgas.** Erhitzt man eine zum Teil mit Holzspänen gefüllte, wagerecht befestigte Probierröhre, in deren Kork eine Glasröhre steckt, so entweichen Dämpfe und Gase, welche mit heller Flamme brennbar sind: Leuchtgas. Dabei verdichten sich eine braune und eine helle Flüssigkeit: Holzteer und durch W. verdünnter Holzessig. (Geruch!) Der Rückstand ist eine schwarze Masse (Kohlenstoff). Das Leuchtgas, meist kurzweg Gas genannt, kennzeichnet sich durch seine hohe Leuchtkraft, welche mit erheblicher Wärmeentwickelung verbunden ist. Zu seiner Darstellung erhitzt man Steinkohlen bei Luftabschluß (trockene Destillation); man kann aber auch Holz, Fett u. a. benutzen. (Fr. 1 u. 2.)

Das Leuchtgas ist ein Gemenge von Kohlenwasserstoffen.

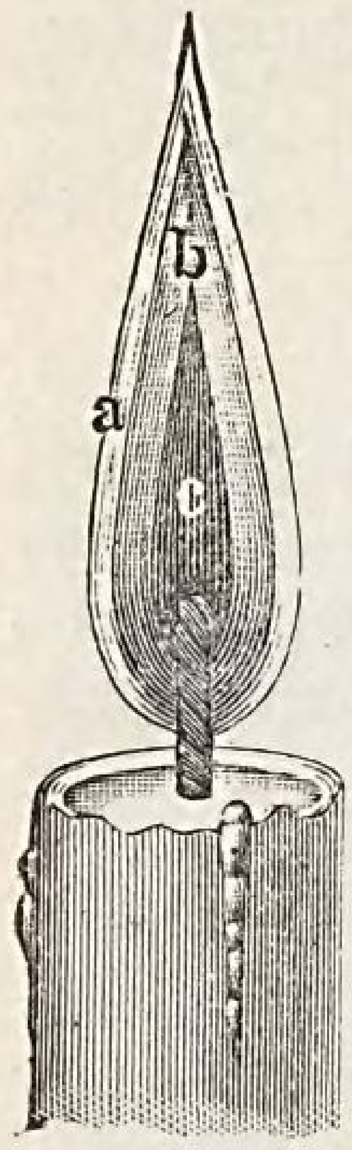
Beim Destillieren der Steinkohle entstehen auch schweflige Säure, Ammoniak, Kohlensäure, Schwefelwasserstoff u. a. Diese sind nicht brennbar, bez. schädlich und werden durch einen umständlichen Reinigungsprozeß entfernt. — Nebenprodukte sind Koks, kohlensaures Ammoniak und Teer; dieser liefert Karbolsäure (Desinfektionsmittel), Naphtalin, Anilin u. v. a.

Sumpf- oder Grubengas, ebenfalls ein Kohlenwasserstoff, steigt aus morastigem Grunde auf; es erzeugt auch die „schlagenden Wetter“. — Rohpetroleum ist ein Gemenge von meist flüssigen Kohlenwasserstoffen, aus dem Benzin und Brennpetroleum abgeschieden werden. Vaseline und Paraffin sind feste Kohlenwasserstoffe.

**Übungsstoff.** **1.** Halte ein Stück Blech oder Glas in eine Kerzen-, Petroleum- oder Gasflamme! Was geschieht? Erkl.? — **2.** Stülpt man eine weite Glasröhre über eine Gasfl. oder eine andere Flamme, so beschlägt sie. Erkl.? Was folgt hieraus bezüglich der Zusammens. des Leuchtgases? — **3.** Wann rußt eine Petroleumflamme? —

4. Durch die Öffnungen eines sog. Bunsenbrenners wird dem Gase atm. Luft zugeführt. Erkl. hiernach die größere Hitze und geringe Leuchtkraft der Bunsenflamme! — 5. Warum entzündet sich ein Gemisch aus Luft und Leuchtgas mit Explosion? Verhütung ders.? — 6. Was sind „schlagende" Wetter? Wie schützt sich der Bergmann gegen dies.? — 7. Wie können sich bei der Gasfabr. Ammoniak und Schwefelwasserst. bilden? — 8. Welche Anwendung findet Koks? Welche Vorteile bietet der Grudeofen? — 9. W. ist es zweckmäßig, bei Anstellung des im Anfang dieses § angegebenen Versuchs eine Kühlvorlage (etwa ein zweites Probierglas) einzuschalten? — 10. Wenn man ein helles Stäbchen von Holz (etwa ein Streichholz) kurze Zeit nahe über dem Dochte quer in eine Kerzenfl. hält, so ist es nur an den beiden Stellen verkohlt, welche von den Rändern der Fl. getroffen werden. Erkl.? — 11. Betrachte eine Kerzenfl. und suche die Teile ders. zu erklären! In Fig. 18 ist c der dunkle Kern, welcher die noch unverbrannten Gase enthält, b der gelbe, leuchtende Teil und a der schwach sichtb., heiße, sog. Schleier (vgl. § 20 Ende). — 12. Wie erklärt sich die Helligkeit des Gasglühlichts (Fr. 4 und § 19)? — 13. Erkl. nach Fr. 4 die Wirkung des Lötrohrs! — 14. Wie verhalten sich a. Leuchtkraft und Heizkraft, b. Leuchtkr. und Kohlenstoffabscheidung einer Flamme?

Fig. 18.



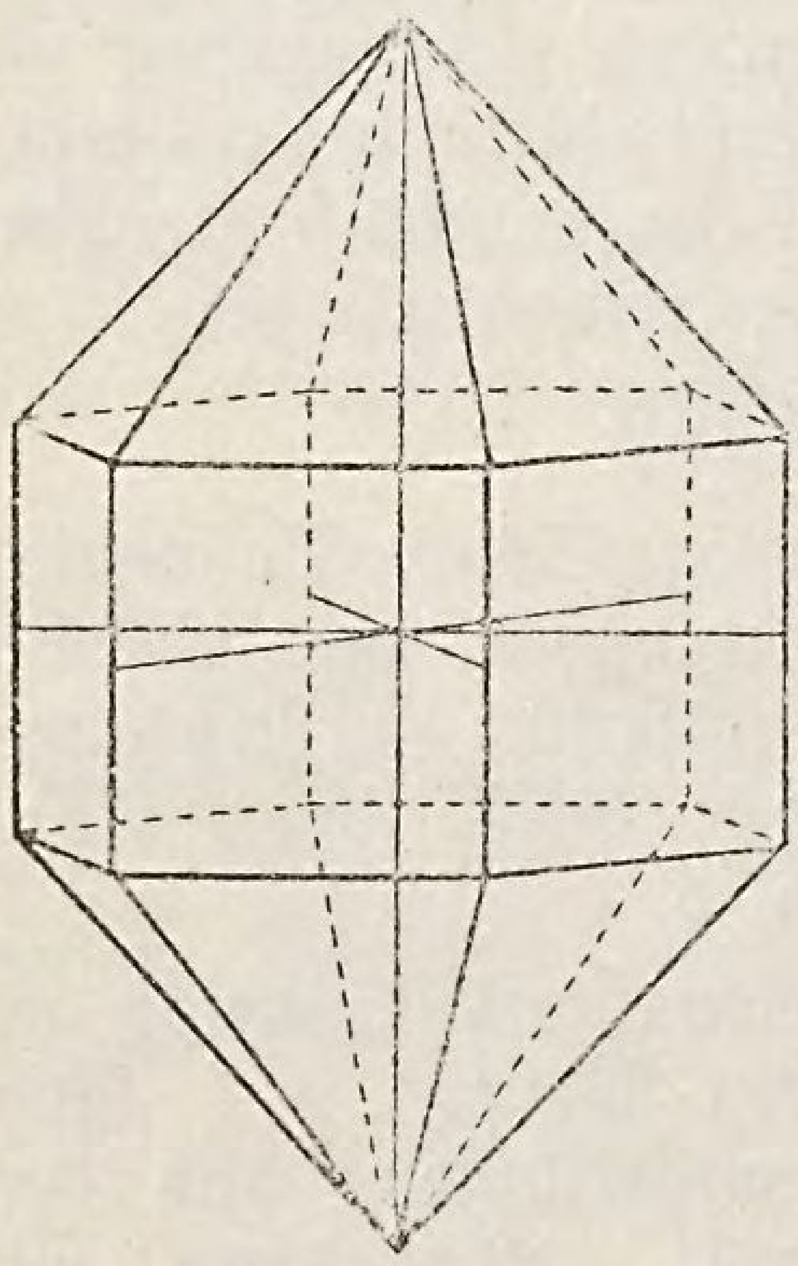

---

**§ 23. Sand,** aus farblosen, harten Körnchen bestehend, ist durch Zertrümmerung von Kieselsteinen (Quarz) entstanden. Auf Lackmus wirkt er nicht. Dessenungeachtet ist er als Säure — Kieselsäure — zu betrachten, weil er, in schmelzende Soda eingetragen, deren Kohlensäure verdrängt. So entsteht das in Wasser lösliche Wasserglas. Kalkzusatz zu der genannten Schmelze ergiebt das gewöhnliche, unlösliche Glas. Sand ist das Oxyd des Elementes Silicium*), welches als braunes Pulver oder in schwarzen Kristallen erhalten wird.

Sand oder Kieselsäure besteht aus Silicium und Sauerstoff.

Aus Kieselsäure bestehen ferner: Bergkristall (wasserhell, Fig. 19), Amethyst (violett), Rauchtopas (braun), Katzenauge (infolge Asbestgehaltes — § 24 — grünlich schimmernd), Jaspis (rot), Heliotrop (lauchgrün m. rot. Fleck.), Achat, Kieselschiefer, Feuerstein. Opal (schönes Farbenspiel) ist wasserhaltige Kieselsäure. Diese tritt auch in wasserlöslicher Form auf, durch deren Niederschlag Kieselsinter entstanden ist. Sie bedingt die Rauhheit des Grases, Schilfes u. a. und findet sich auch als Diatomeenerde vor, welche aus den Panzern verwester Algen besteht (Kieselgur). — Die Achsen des Quarzkristalles (Fig. 19) sind in der Vierzahl vorhanden. Es liegt daher ein neues Kristallsystem vor, das hexagonale**), welchem auch das Rhomboeder (Fig. 17) angehört.

Fig. 19.



---

**Übungsstoff.** 1. Wo kommt Sand in größeren Mengen vor? — 2. Inwief. u. w. benutzt man ihn zum Reinigen? — 3. Wie verhält sich Sandboden gegen Sonnenwärme und Regenwasser? W. ist derselbe im allg. wenig fruchtbar? — 4. Halte eine (dünnwandige) Glasröhre in eine Kerzenflamme! Was beobachtest du? Auf w. Eigensch. des Glases beruht daher seine Verarbeitung? — 5. Hält man eine Glasröhre in eine farbl. (Spiritus- oder Bunsen-) Flamme, so wird diese nach kurzer Zeit stark gelb gefärbt. Erkl. u. Schluß? — 6. W. benutzt man Wasserglas als Schutzmittel (Anstrich)?

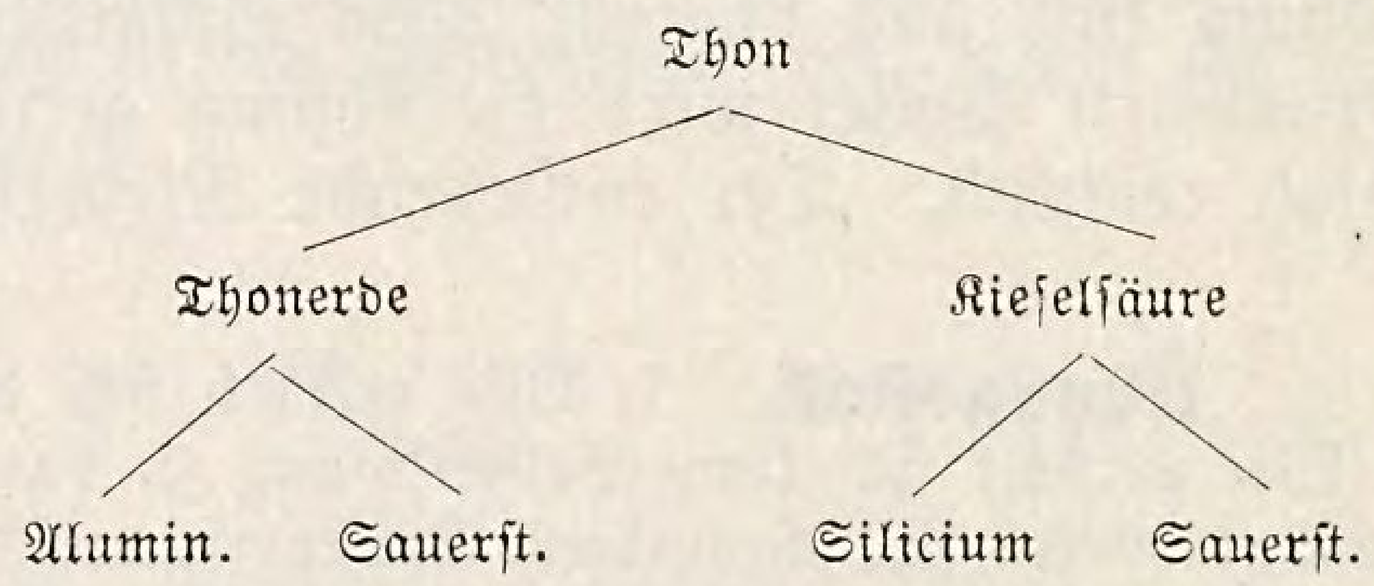
---

*) Von silex = Kiesel.
**) hexa = sechs.

für Holz und Mauerwerk? — **7.** Durch Glühen läßt sich Kieselgur reinigen. Man erhält eine feine weiße Asche, in der die ursprüngl. Formen der Algenpanzer noch unverändert sind. Erkl.? — **8.** Inwief. ist in Fig. 17 angegeben, daß das Rhomboeder hexagonal ist? — **9.** Der Querschnitt von Fig. 19 ist ein regelmäßiges Sechseck. Welche Winkel bilden daher die Achsen des hexag. Systems mit einander? — **10.** Nenne eine Säure, die in einer nicht in Wasser lösl. Form auftritt. — **11.** Was für Atome enthalten die Molekel von Höllenstein, Alaun, Ätzkalk, Opal, Soda, Bullrichs Salz? Bringe weitere Bspl.!

---

**§ 24. Thon.** Der zur Herstellung der bekannten Thon- und Porzellanwaren gebrauchte Thon ist ein wichtiger Bodenbestandteil. Mit Wasser läßt er sich kneten. In reinster Form ist er ein weißes, zartes Pulver, Porzellanerde genannt. Bringt man diese in heiße Schwefelsäure, so bleibt ein aus Kieselsäure bestehender Rückstand. Die Lösung giebt beim Eindampfen ein Salz, aus welchem man die Basis des Thons — die Thonerde — erhält. Unterwirft man letztere der Elektrolyse, so scheidet sich das Thonerdemetall ab. Dasselbe ist silberweiß, luftbeständig, dehnbar, sehr leicht (§ 2) und heißt Aluminium. Es dient zu Geräten und Instrumenten; die Aluminiumbronze, aus Kupfer und Aluminium bestehend, zeichnet sich durch Härte und Goldglanz aus.




Thon ist eine Verbindung von Aluminiumoxyd und Kieselsäure (Aluminiumsilikat oder kieselsaures Aluminium.)

Töpferthon enthält noch Kalk, Sand, Eisen, organ'sche Stoffe. Kalkreicher Thon heißt Mergel, sandhaltiger Lehm. Rubin, Saphir und Schmirgel sind ebenfalls Thonerde. — Zur Anfertigung von Gefäßen wird der Thon zunächst nach Erfordernis durch Anfeuchten knetbar gemacht und darauf geformt. Die Gefäße werden langsam getrocknet und dann in einem Ofen geglüht. Meistens taucht man sie hierauf in eine Glasurbrühe und brennt sie noch einmal. Dadurch wird die vorher poröse Masse mit einer glasartigen Schicht (Glasur) überzogen. Die Glasurbrühe enthält Feldspat, Bleiglätte u. a. in feinverteiltem Zustande.

Der gewöhnliche Feldspat ist Kaliumaluminiumsilikat; ähnliche Zusammensetzung hat der Glimmer. Andere kieselsaure Salze sind die schwarzgrüne Hornblende (deren zartfaserige Abänderung der Asbest ist), der ihr ähnliche Augit, der dunkelrote Granat, der gelbe Topas, der grüne Smaragd, ferner Talk, Meerschaum und Serpentin.

Wenn Mineralien in großen Mengen auftreten, so heißen sie Gesteine. Sie sind entweder einfach, aus einer chemischen Verbindung bestehend (z. B. Kalkstein) oder zusammengesetzt. Zu letzteren gehören der Granit (aus Feldspat, Quarz und Glimmer gebildet), der Syenit (Feldsp. u. Hornbl.), der diesem ähnliche Grünstein, der Porphyr (in rötlicher Grundmasse sind Quarz u. Feldsp. eingesprengt), der Basalt (schwarz, säulenf., Fingalshöhle), der Gneis, welcher wie Granit zusammengesetzt ist, aber deutliche Schichtung zeigt, der Schiefer (Dach-, Griffel-, Wetzschiefer).

---

**Übungsstoff.** **1.** Woher der Name „Aluminium"? (alūmen = Alaun, § 12.) — **2.** Welche Edelsteine sind bis jetzt aufgeführt? — **3.** Welches Metall kommt meist im Straßenstaube vor? — **4.** Ackerboden entsteht durch Zertrümmerung der Gesteine. Warum hinterläßt Feldspat fruchtbaren Boden, nicht aber Sand? — **5.** Wie erkennt man die Bestandteile des Granits? — **6.** Anw. des Granits, Talks, Meerschaums. — **7.** Warum bezeichnet man thonreichen Boden als naß und kalt? (vgl. damit den Sandboden.) —

8. Vgl. Silber und Aluminium! — 9. Welcher Prozeß vollzieht sich beim Eintragen von Thon in heiße Schwefelsäure? (Schema.) — 10. Welches als Beizmittel angew. Doppelsalz läßt sich aus Thon darstellen? Wie ist dabei zu verfahren? — 11. Inwief. ist Feldspat ein Doppelsalz? — 12. Beim Verwittern von Feldspat (durch Einw. von Kohlens. u. W.) bleibt Porzellanerde zurück. Erkl.? — 13. Zum Glasieren der gew. Thonwaren nimmt man häufig Bleiglanz. W. enthält daher die Glasur Bleisilikat? — 14. Welche Elemente treten auf der Erde a. in großer, b. in geringerer Menge auf? Nenne die entspr. Verbindungen! — 15. Alaun schäumt beim Erhitzen sehr stark. Erkl.? (§ 21, Fr. 9.)

**§ 25.** Die **Seife**, unser wichtigstes Reinigungsmittel, ist eine Natriumverbindung (§ 9). Kocht man Seifenlösung mit Schwefelsäure, so lagert sich auf der Flüssigkeit eine ölige Schicht ab, welche beim Erkalten fest wird. Sie ist ein Fettstoff, da sie auf Papier einen bleibenden, durchscheinenden Fleck erzeugt. Bemerkenswert ist, daß der Fettstoff sich als Säure darstellt.

Seife ist fettsaures Natrium.

Löst man Seife in weichem (destilliertem oder Regen-) Wasser, so ist die Lösung klar und schäumt beim Schütteln stark. Bei Zusatz von hartem (z. B. Brunnen-) Wasser wird die Lösung getrübt und schäumt erst bei größerem Seifezusatz reichlich. Der entstehende Niederschlag ist fettsaures Calcium.

**Übungsstoff.** 1. Wie erklärt sich die reinigende Wirkung der Seife? (§ 9). — 2. Wie verhält sich klare Seifenlösung zu hartem W.? zu weichem W.? Erkl. — 3. Warum bedingt hartes W. unnötigen Seifeverbrauch? — 4. Welches Mittel beseitigt diesen Übelstand? — 5. Warum verwenden sparsame Hausfrauen vielfach Regenw. zum Waschen? — 6. Warum mögen die gew. Fette nicht auf Lackm. wirken? — 7. Stearinkerzenmasse rötet Lackm. und ist äußerlich der Seifenfettsäure sehr ähnlich. Schluß? — 8. Schemas zu 2 u. 4. — 9. Warum ist es verkehrt anzunehmen, W. brauche nur recht warm zu sein, um bei Anwendung von Seife als gutes Waschwasser dienen zu können? — 10. Die (weiche) Schmierseife färbt die schwachleuchtende Flamme violett. Schluß? — 11. Wieso ist klare Seifenlösung ein Erkennungsmittel für die Härte des W.?

**§ 26.** **Fett.** Man löse z. B. Rindstalg in starkem Alkohol (im Wasserbade). Nach dem Erkalten setzt sich ein weißes Pulver ab, welches man als Fett erkennt. Den Alkohol gieße man ab und dampfe ihn ein. Der Rückstand ist eine ölige, fettige Masse. Offenbar ist der Rindstalg in zwei Fette zerlegt worden. Jenes heißt Stearin*), dieses wegen seiner öligen Beschaffenheit Olein. (Fr. 2.)

Die Fette sind hauptsächlich als Nahrungsmittel wichtig und stammen meist aus dem Tierreich (Fett, Schmalz, Speck, Talg, Butter). Flüssige Fette bezeichnet man als (fette) Öle; solche sind — aus dem Pflanzenreiche — Leinöl, Mohnöl, Rüböl, Olivenöl (Verwendung zu Ölfarben und Firnissen). An der Luft erleiden die Fette durch Sauerstoffaufnahme eine Veränderung: sie werden ranzig.

Die Fette sind meist Gemenge aus Stearin und Olein; sie bestehen aus Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff.

Schmelzt man Talg und setzt nach und nach Natronlauge hinzu, so hat man nach dem Erkalten Seife. Dabei sondert sich die sog. Unterlauge ab. In dem Stearin des Talgs ist die Fettsäure der Seife oder die Stearinkerzenmasse enthalten: die Stearinsäure. Den zweiten Bestandteil des Stearins gewinnt

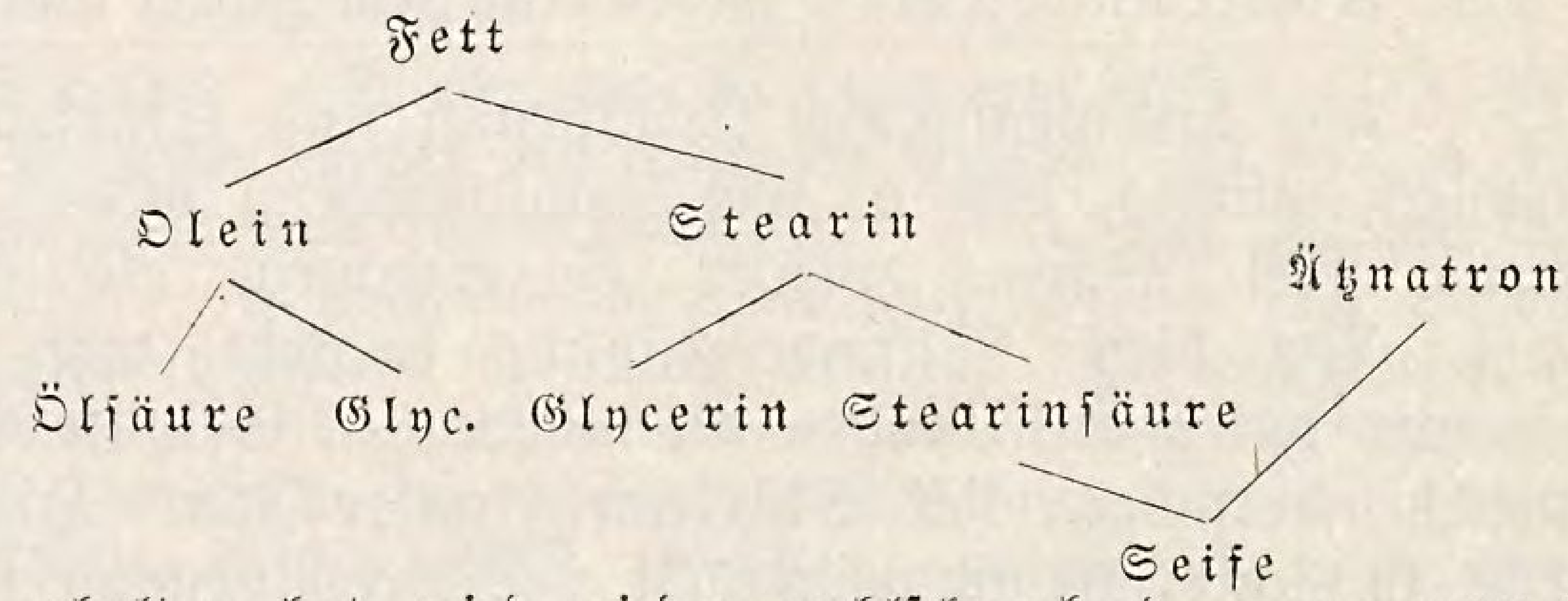
*) Von stear = Talg.

man aus der Unterlauge (d. Eind. u. Destill.) als eine farblose, ölige Flüssigkeit von süßlichem Geschmack: das Glycerin*). Stearin ist daher stearinsaures Glycerin und Seife stearinsaures Natrium.

Außer den fetten Ölen unterscheidet man ätherische Öle. Dies sind flüchtige Flüssigkeiten, die in den Blüten, Samen und Früchten vieler Pflanzen vorkommen und diesen ihren eigentümlichen Geruch (Duft) erteilen. Sehr bekannte ätherische Öle sind das Rosenöl, Zitronenöl, Pfefferminzöl, Kamillenöl, Terpentinöl. Mit diesen verwandt sind die als Harze bezeichneten Stoffe des Pflanzenreiches, zu denen das bekannte Tannenharz, der Bernstein, Terpentin, das Kautschuk oder Federharz (auch Gummi genannt) u. a. gehören.

---

**Übungsstoff.** **1.** Welche Arten von Ölen werden unterschieden? Wo finden sich die betr. Öle vor? — **2.** Wie ist nach § 22 darzuthun, daß die Fette Kohlenst. und Wasserst. enthalten? — **3.** Die Bedeutung des Wortes „Fett“ im gewöhnl. Leben und in der Chemie. — **4.** Wo namentlich findet sich das Fett im tierischen Körper? — **5.** Bei welchen Tieren dienen die Fettablagerungen als Schutzmittel gegen Kälte (und Nässe)? — **6.** Warum lassen sich Fettflecken mit Benzin aus Zeug entfernen, nicht aber mit W.? — **7.** Die weiße Farbe der Milch rührt von äußerst kleinen Fettkügelchen her, welche sich bei längerem Stehen an der Oberfläche als Rahm oder Sahne ansammeln. Erkl.? Welche wichtige Anw. findet letztere? — **8.** Warum wird Butter zu längerer Aufbewahrung möglichst fest eingeknetet? — **9.** Butter, welche durch längeres Stehen an der Luft einen üblen Geschmack erhalten hat, wird wieder wohlschmeckend, wenn man sie mit verdünnter Sodalösung wiederholt auswäscht. Erkl.?




---

## § 27. Zucker.

Der zu unseren Lebensbedürfnissen zählende Zucker findet sich in vielen Pflanzensäften, namentlich im Zuckerrohr und in den Runkelrüben. Er schmilzt bei 160° und erstarrt beim Abkühlen zu glasigem Bonbonzucker. Als Kandiszucker kristallisiert er in großen, schiefen Prismen. (§ 7, Fr. 5.)

Zucker enthält ebenfalls Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff (von letzterem mehr als die Fette).

Zur Rübenzuckergewinnung werden die zerschnittenen Rüben mit warmem Wasser ausgezogen. Die Pflanzensäuren werden durch Kalkmilch neutralisiert und diese mit Kohlensäure niedergeschlagen. In mit Kies gefüllten Gefäßen wird der Saft geklärt (gereinigt), worauf er in den Vakuumpfannen eingedickt wird. In konischen Formen kristallisiert er endlich aus, wobei durch Umrühren die Bildung größerer Kristalle verhindert wird.

---

**Übungsstoff.** **1.** Die Löslichkeit des Rübenzuckers in warmem und kaltem W. — **2.** Erkl. das „Diffusionsverfahren“! — **3.** Früher wurden die Rübenschnitzel ausgepreßt oder ausgeschleudert. Bei welchem Verfahren haben die Rückstände höhern Wert als Futter u. w.? — **4.** In welchem Verhältnis sind Wasserst. und Sauerst. im Zucker enthalten (§ 7, Fr. 5)? — **5.** Warum nennt man den Zucker ein Kohlehydrat? — **6.** Der Rübenzucker ist chemisch gleich dem Rohrzucker. Andere Zuckerarten sind der Trauben- oder Fruchtz., der Milchz. u. der Malzz. Wo kommen sie vor? — **7.** Was lehren allbekannte Erfahrungen über den Einfluß, welchen die Sonnenstrahlen auf die Bildung von Zucker in Früchten

*) Von glykys = süß.

ausüben? Bspl.! — **8.** Früher reinigte man den Zuckersaft in den Zuckerfabriken meist mit Knochenkohle. Erkl.? — **9.** Durch welches Verfahren werden die in den Rüben enthaltenen Pflanzensäuren entfernt? Erkl.? — **10.** Glüht man (reinen) Zucker bei Luftabschluß, so bleibt ein schwarzer Rückst.; dieser verschwindet beim Glühen an der Luft. Erkl.?

---

**§ 28. Stärke und Zellstoff.** Im Haushalt wird die Stärke zum Steifen der Wäsche (Weizenstärke) und als Kartoffelmehl (Kartoffelstärke) benutzt. Sie findet sich namentlich in den Getreidekörnern (Weizen 62%, Reis 85%) und in den Kartoffelknollen (20%). Man erhält sie als blendend weißes, unlösliches Pulver (oder in Stücken) ohne Geschmack und Geruch. In Wasser von 60° quillt sie und bildet Kleister, welcher beim Erkalten erstarrt. Sie ist — als Mehl — das wichtigste Nahrungsmittel (Brot, Kartoffeln, Reis, Graupen, Hülsenfr.). Ferner dient sie zur Dextrinbereitung (Erhitzen auf 200°) und zur Alkoholgewinnung (§ 29). Die Stärke ist dem Zucker chemisch verwandt, da aus dem Mehl der Gerste Malzzucker entsteht. — Der Zellstoff (die Zellulose) bildet die Wandungen der Pflanzenzellen (Hollundermark, Baumwolle, Flachs, Papier, Hanf, Gemüse, Holz).

Stärke und Zellstoff haben eine dem Zucker ähnliche chemische Zusammensetzung.

Für die menschliche Ernährung sind Stärkemehl und Zuckersäfte besonders dadurch wichtig, daß sie das Hauptmaterial bilden, dessen der Körper bedarf, um ebenso viel Wärme wieder zu erzeugen, als er jederzeit nach außen verliert. Bei dieser Wärmeerzeugung entsteht, wie in unseren Öfen, Kohlensäure, die wir durch die Lungen ausatmen. — Gewisse Verdauungssäfte (z. B. Mundspeichel) vermögen das Stärkemehl aufzulösen. Hierbei wird die Stärke größtenteils in Zuckersaft umgewandelt. Dieser Vorgang findet auch in keimenden stärkehaltigen Samen statt. — Der Zellstoff ist für den Menschen nur dann verdaulich, wenn er in der Form jungen Gemüses genossen wird.

Papierfabrikation: Leinwand, Baumwolle, Stroh, Holz, Blätter, Torf werden durch Dampf gereinigt, fein zerrieben, mit Wasser vermengt, durch Chlor gebleicht und mit Klebstoff vermischt. Dieser Papierbrei wird mittelst erwärmter Walzen über Messingdrahtgewebe geführt, um dadurch geformt, getrocknet und aufgerollt zu werden.

---

**Übungsstoff. 1.** Mische zerriebene Kartoffeln mit Wasser, drücke den Brei durch grobe Leinwand und lasse die durchgepreßte Flüssigkeit abdunsten! Was erhält man? — **2.** Behandelt man Weizenmehl entsprechend, so bleibt eine zähe, klebrige Masse (Kleber) zurück. Welcher Untersch. ergiebt sich zw. Kart. und Getr.? — **3.** Warum wird die Stärke von der Pflanze in Zucker übergeführt? Bsp.! — **4.** Woraus folgt, daß der Zellstoff der Stärke chemisch ähnlich ist? — **5.** Warum sehen trockene Schnittflächen von Kartoffeln bestaubt aus? — **6.** Stärke unter dem Mikr. — **7.** Hollundermark unter dem Mikr. — **8.** Erkläre das Steifwerden der Wäsche durch das Stärken! — **9.** Drücke Kartoffelmehl und gewöhnl. Mehl zwischen den Fingern! Unterschied? — **10.** Suche Zellstoff (z. B. Fließpapier) zu lösen! — **11.** Wozu gebraucht man Kartoffelstärke?

---

**§ 29. Gärung.** Bringt man Hefe in Zuckerlösung und setzt diese längere Zeit einer Wärme von 25° C. aus, so beobachtet man reichliches Wachstum der Hefepilze und Schäumen der Flüssigkeit. Dieselbe schmeckt dann nicht süß, sondern alkoholisch. Der beschriebene Prozeß heißt Gärung und ist das Mittel zur Gewinnung von Alkohol (Spiritus, Weingeist), welcher im großen aus Kartoffeln oder Getreide bereitet wird (Fr. 9).

In Gegenwart von Hefe zersetzt sich eine Zuckerlösung in Alkohol und Kohlensäure: sie gerät in alkoholische Gärung.

Bei der Essiggärung wird (verdünnter) Spiritus in Essig umgewandelt, indem man ihn (in einem Fasse über Buchenholzspäne) durch atm. Luft tröpfeln läßt. Die Milchsäuregärung besteht in der Bildung von Milchsäure aus Zucker (saure Milch, saure Gurken, Sauerkohl). Auch in diesen Fällen spielen Bakterien (Pilze) die Rolle von Erregern oder Fermenten.

Bierbrauerei: Zuerst wird Gerste zur Keimung gebracht. Das erhaltene Malz wird zerkleinert, mit Wasser ausgekocht und mit Hopfen versetzt. Letzterer macht das Bier klar, haltbar und wohlschmeckend. Die Gärung erfolgt beim sog. einfachen (Braun-, Weiß-) Bier schneller (bei etwa 14°). Dabei steigt die entstehende Hefe nach oben: obergäriges Bier. Lagerbier gärt langsam (bei etwa 2°): untergäriges Bier, welches alkoholreicher ist. Bier besteht durchschnittlich aus 85% Wasser, 6% Dextrin, 3% Alkohol, 1% Zucker, 0,2% Kohlensäure, etwas Glycerin, Eiweiß, Salzen.

Sauerteig ist gegorene Stärke, deren Alkohol in Essigsäure umgewandelt ist. Nach der Teigbereitung tritt alkoholische Gärung ein, wobei die Kohlensäure die Masse auflockert. Das nachfolgende stärkere Erhitzen auf 200° — Backen — unterbricht die Gärung und erzeugt die dextrinhaltige Rinde.

---

**Übungsstoff.** 1. Was ist Hefe? — 2. Betrachte sie unter dem Mikr.! — 3. Muß man, damit Gärung eintritt, die Bakterien immer erst absichtlich zusetzen? W.? — 4. Wie ist die bei der Alkoholgärung entstehende Kohlens. nachzuweisen? — 5. Vgl. Fäulnis und Verwesung mit der Gärung (§ 20)! — 6. Die Bakterien als gute Freunde und als böse Feinde. — 7. Die gegorene Flüssigkeit enthält nur wenig Alkohol. Da dieser schon bei 78° siedet, so kann man ein alkoholreicheres Destillat erhalten. Wie ist daher zu verfahren, um möglichst konzentr. Alkohol zu bereiten? — 8. Wie wirkt Alkohol auf den menschl. Körper? — 9. In keimender Gerste ist ein Stoff enthalten, welcher die nicht direkt gärungsfähige Stärke in Zucker umwandelt. W. muß man daher Malz zusetzen, wenn man aus Kartoffeln Branntwein bereiten will? — 10. Wieso ist die Essigbildung eine Oxydation? — 11. Gewisse feinere Backwaren werden durch Hirschhornsalz aufgelockert. Erkl.?

---

**§ 30. Eiweiß.** Als solches ist das Weiße des Hühnereies allgemein bekannt. Im geronnenen Zustande, welcher beim Erwärmen auf 70° C. eintritt, ist es ein weißer, fester Körper. Wie alle organischen (im lebenden Körper enthaltenen) Stoffe, so besteht auch das Eiweiß aus Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff. Außerdem finden sich in demselben noch Stickstoff und Schwefel (§§ 11 und 14).

Eiweiß besteht aus Kohlenstoff, Sauerstoff, Wasserstoff, Stickstoff und Schwefel.

Das Weiße des Eies stellt nur eine Art von Eiweißstoff dar (Albumin*), welcher sich auch im Eigelb, im Blut, in den Pflanzensäften findet. Andere Eiweißstoffe sind die folgenden. Der Käsestoff kommt in der Milch und in den Hülsenfrüchten vor. Er gerinnt durch Säurezusatz (Lab). Der Faserstoff gerinnt, sobald er den Organismus verläßt, und ist im Blut, in den Muskeln und in den Getreidekörnern (als Kleber, § 28, Fr. 2) enthalten. Der rote Blutfarbstoff, auch ein Eiweißstoff, ist eisenhaltig; er verbindet sich in der Lunge mit Sauerstoff und giebt diesen auf seiner Bahn durch den Körper wieder ab. Die sog. leimgebenden Stoffe, Knorpel und Hornstoff, sind eiweißähnliche Substanzen.

Eiweißstoffe können im Pflanzenkörper aus unorg. Nährstoffen gebildet werden, nicht aber im menschl. und tierischen K. Dieser muß daher zu seiner

*) albus = weiß.

Ernährung bereits fertig gebildete Eiweißstoffe als Nahrung aufnehmen. Dasselbe gilt im wesentlichen auch von den übrigen org. Stoffen unserer Nahrung. (Wichtige Beziehung zwischen Mineral-, Pflanzen- und Tierreich.) Da sich aus den Eiweißstoffen der Nahrung Blut und Fleisch bilden kann, so sind sie als die vollkommensten Nahrungsmittel zu bezeichnen.

---

**Übungsstoff.** 1. Warum sind die Eiweißstoffe unentbehrliche Nahrungsmittel? — 2. Wieso ist der Käse sehr eiweißreich? — 3. Beim Mahlen des Getreides wird gewöhnlich die dunkle, gröbere Kleie, welche bes. kleberhaltig ist, entfernt. Was gilt daher vom Nährgehalt des weißeren Brotes gegenüber dem schwärzeren? — 4. In wies. stimmen Blut und Milch hinsichtlich des Gehaltes an dem wichtigst. Nährstoff überein, und wodurch untersch. sie sich? — 5. Gesetzt, Fleisch werde einmal in kaltem W. aufs Feuer gesetzt, ein andermal in koch. W. geworfen. Was gilt vom Eiweißgehalt der Brühe? — 6. Wie erhält man daher a. nahrhaftes Fleisch, b. nahrhafte Brühe? — 7. W. wird das Gerinnen der Milch durch Zusatz von doppeltkohlens. Natron verhindert? — 8. Auf Milch bildet sich während des Kochens eine Haut. Woraus besteht sie? — W. entsteht sie nach dem Entfernen wieder? — 9. Welche Früchte zeigen ein ähnl. Verhalten? Erklärung? — 10. W. kann durch den Genuß von Fett sich weder Fleisch noch Blut bilden? — 11. Kann man die beiden in Fr. 6 angeg. Absichten zugleich erreichen? — 12. Kocht man Bohnen, Linsen u. a. in hartem Wasser, so bildet sich auf denselben eine aus Mineralstoff und Eiweiß bestehende dünne, schwer durchdringliche Schicht, weshalb dann die Hülsenfr. nicht weich werden. Erkl. und Verhütung? Woher der Name „hartes" W.? — 13. Untersuche die Löslichkeit des (nicht geronn.) Eiweißes in W.!

---

**§ 31. Nahrungsmittel.** a. **Zusammensetzung.** Unsere wichtigsten Nahrungsmittel sind Mehl, Fleisch, Milch, Butter, Eier, Hülsenfrüchte, Kartoffeln, Gemüse, Obst. Vom Wasser abgesehen, welches bei den meisten den Hauptbestandteil bildet, enthält das Mehl (der Getreidearten) Stärke, Kleber und phosphors. Salze. Im Fleisch finden sich Faserstoff, leimgebende Stoffe, Fett, Chloralkalien, milchs. und phosphors. Salze. Milch besteht aus Käsestoff, Milchzucker, Fett und phosphors. Salzen, welche in Wasser gelöst sind. Das Fett der Milch haben wir in der Butter, den Käsestoff derselben im Käse. Die Bestandteile des Eies sind Albumin, phosphorhaltiges Fett, gelbes Eieröl, Chloralkalien und phosphors. S. Die Hülsenfrüchte sind ziemlich reich an Stärke und Käsestoff. Die Kartoffeln enthalten nur wenig Eiweiß; das Gemüse ist besonders wertvoll wegen seines Salzgehaltes und das Obst wegen seines Zuckergehaltes.

**Zusammensetzung einiger Nahrungsmittel in Gewichtsprozenten.**

| | Eiweiß | Fett | Kohlenhydrat | Salze | Holzfaser | Wasser |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Rindfleisch . . . . | 21 | 5,5 | — | 1 | — | 72,5 |
| Blutwurst . . . . | 12 | 11,5 | 25 | 2 | — | 49,5 |
| Käse (mager) . . . | 32,5 | 9,5 | 5 | 5 | — | 48 |
| Schwarzbrot. . . . | 6 | 0,5 | 49,5 | 1,5 | 0,5 | 42 |
| Erbsen. . . . . . | 23 | 2 | 52 | 2,5 | 5,5 | 15 |
| Kartoffeln . . . . | 2 | — | 20,7 | 1 | 0,8 | 75,5 |
| Kohl . . . . . . | 2,5 | 0,5 | 6,5 | 1 | 1,5 | 88 |
| Obst (frisch) . . . . | 0,5 | — | 10 | 0,5 | 4 | 85 |

b. **Zubereitung und Nährwert.** Die Milch enthält alle erforderlichen Nährstoffe in leicht verdaulicher Form, weshalb sie die erste Nahrung des Säuglings bildet. Im allgemeinen jedoch werden die Nahrungsmittel einer besonderen Zubereitung unterworfen, um sie verdaulicher und schmackhafter zu machen.

Sie werden zerkleinert, gekocht, gebraten, gebacken u. s. w.; die Hitze namentlich lockert die organischen Gewebe (§ 29, Ende; § 30, Fr. 5, 6.) — Zwar finden sich in den Eiern und im Fleische sämtliche nötigen Nahrungsstoffe. Doch ist ihr ausschließlicher Genuß nicht bloß wegen des hohen Preises, sondern mehr noch aus Gründen des Wohlgeschmacks und der Bekömmlichkeit unthunlich. Andererseits ist die ausschließliche Pflanzenkost nicht richtig, weil man, um das erforderliche Eiweiß einzuführen, zu große Mengen genießen muß. Die Hülsenfrüchte sind zwar reich an Nährstoffen, müssen aber sorgfältig und schmackhaft zubereitet werden, weil sie nicht leicht verdaulich sind. Aus dem Gesagten geht hervor, daß eine zweckmäßige Kost aus tierischen und pflanzlichen Nahrungsmitteln gemischt sein muß (gemischte Kost).

c. **Konservierung.** Da auch die Bakterien zu ihrem Leben Luft, Wärme und Wasser brauchen, so schützt man die Nahrungsmittel vor dem Zersetzen 1. durch Kälte (Keller, Eisschrank); 2. durch Verhinderung des Luftzutritts (Verlöten von Blechbüchsen nach dem Kochen) und 3. durch Wasserentziehung (Dörren z. B. von Obst, Zusatz von Salz, Zucker, Alkohol, welche Wasser entziehen); 4. wendet man Stoffe an, welche für die Bakterien Gifte sind: Ausschwefeln der Weinfässer (§ 6), Karbolsäure (Räuchern), Salicylsäure, Gewürze (Kümmel, Thymian u. a.).

Behufs einer naturgemäßen Ernährung sind die Speisen mit Rücksicht auf ihre chemische Zusammensetzung und Verdaulichkeit auszuwählen und entsprechend zuzubereiten.

---

**Übungsstoff.** **1.** Unterscheide Nahrungsmittel und Nahrungsstoffe! — **2.** W. ist stark gepökeltes Fleisch weniger nahrhaft? — **3.** Der Darm der Wiederkäuer ist sehr lang, der der Raubtiere kurz. Der Darm des Menschen hat eine mittlere Länge. Was folgt daraus bezüglich der Auswahl der Nahrung? — **4.** Was folgt aus der Einrichtung des Wiederkäuermagens hinsichtlich der Verdaulichkeit der Pflanzenkost? — **5.** Warum ist es nicht nötig, die Speisen stark zu würzen? — **6.** Welchen Wert haben die Nahrungsmittelkonserven? — **7.** Inwief. ist der Mundspeichel wertvoll für die Verdauung? — **8.** Der Bauchspeichel wirkt ebenso; außerdem zerlegt er die Fette teilweise in Fettsäuren und Glycerin. Erkl.? — **9.** Vgl. die in §§ 26—30 angeführten org. Stoffe miteinander hinsichtlich a. ihrer chem. Zusammens., b. ihrer Bedeutung als Nährstoffe! — **10.** Vgl. die unorg. Verbindungen (§§ 1—24) mit organ. Verbindungen hinsichtlich ihrer Veränderlichkeit an der Luft! — **11.** Vgl. die in §§ 25—29 angef. org. Stoffe mit den in § 30 angef. inbezug auf die Geruchsentwicklung beim Verbrennen (Versengen, Verwesen)! In welche beiden Gruppen lassen sich daher die org. Stoffe nach ihrer Zusammens. einteilen? — **12.** Kaue trockenes Brot längere Zeit! Welche Geschmacksänderung bemerkst du? Erkl.? — **13.** Warum ist es zweckmäßig, zum Brote Fett (Butter) zu essen? — **14.** Ordne die gen. Nahrungsmittel a. nach ihrem Eiweiß-, b. nach ihrem Kohlehydratgehalt!

---

Sumpf, Karl

K. Sumpfs Anfangsgründe der Physik Mit 303 in den Text gedruckten Abbildungen, einem farbigen Sonnenspektrum und 2 Abbildungen über Luftdruck: und Windverhältnisse

Hildesheim 1895